

Anwendung der Membrandestillation zur teilweisen Alkoholreduktion in Weinen der Sorte Grüner Veltliner

Reinhard Eder^{1*}, Emmerich Berghofer², Harald Scheiblhofer¹, Robert Steidl¹, Martin Prinz¹

¹Höhere Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau
Wiener Straße 74, A-3400 Klosterneuburg

²Universität für Bodenkultur, Institut für Lebensmitteltechnologie
Muthgasse 18, A-1190 Wien

*Korrespondierender Autor: reinhard.eder@weinobst.at

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es zu testen, ob das Verfahren der Membrandestillation mit hydrophoben Membranen für österreichische Verhältnisse ein taugliches Verfahren ist, um den Alkoholgehalt in alkoholreichen Weinen zu senken und das typische, fruchtig-frische Geschmacksbild wieder zu erlangen. Zu diesem Zweck wurden früh und spät geerntete Trauben der Sorte Grüner Veltliner einerseits unangereichert (10,9 %vol bzw. 12,1 %vol) und andererseits auf 13,3 %vol bzw. 14,3 %vol angereichert vergoren und die angereicherten Weine dann in Schritten von jeweils minus 0,7 %vol um bis zu 2,1 %vol entalkoholisiert. Bei der Alkoholreduktion mittels Membrandestillation mit hydrophoben Membranen wurde auch der Einfluss der Begasung des Strippingswassers mit Stickstoff bzw. Kohlendioxid auf die Produktqualität bestimmt, wobei sich herausstellte, dass Kohlendioxid deutlich fruchtigere, frischere Weine ergab. Chemische Analysen der Weine ergaben, dass die Gehalte der Zucker und Säuren infolge der Membrandestillation nicht verändert wurden, während hingegen bei Ethylacetat Abnahmen zwischen 14-44 %, bei Methanol zwischen 6-28 %, und bei höheren Alkoholen feststellbar waren. Die Verringerungen der flüchtigen Verbindungen waren proportional dem Grad der Entalkoholisierung, wirkten sich aber nicht qualitätsmindernd aus. Die sensorische Beurteilung der Weine erfolgte durch amtlich geschulte Weinkoster, wobei bei der Bewertung nach dem 20-Punkteschema immer ein entalkoholisierter Wein mit CO₂-gesättigtem Strippingwasser als Bester bewertet wurde, und zwar bei dem früh gelesenen, angereicherten Grünen Veltlinern (Ausgangsalkoholgehalt: 13,3 %vol) die auf 12,5 %vol teilentalkoholisierte Variante und beim spät gelesenen, angereicherten Grünen Veltliner (Ausgangsalkoholgehalt: 14,3 %vol) die auf 13,5 %vol alkoholreduzierte Variante. Auch bei der deskriptiven Bewertung wurden Weine mit einer Reduktion des Alkoholgehalts um 0,8 %vol bis 1,5 %vol bei der Hauptkomponentenanalyse in den Bereichen fruchtiger Geruch und sortentypischer Geschmack sowie guter Gesamteindruck sehr gut bewertet. Somit kann festgestellt werden, dass die Alkoholreduktion mit Membrandestillation und hydrophoben Membranen aufgrund der sehr guten erzielten Produktqualitäten und den bekannt geringen Investitions- und Betriebskosten sowie der einfachen Bedienung eine sehr gute Möglichkeit für das moderne, zukunftsfitte Alkoholmanagement darstellt.

Schlagerwörter: hydrophobe Membran, höhere Alkohole, chemische Analysen, deskriptive Sensorik, Hauptkomponentenanalyse

Abstract

Application of Membrane Distillation for Partial Alcohol Reduction in Grüner Veltliner Wines. The objective of this study was to evaluate whether membrane distillation using hydrophobic membranes is a suitable method under Austrian conditions for reducing the alcohol content of high-alcohol wines and thereby restoring the typical fruity-fresh flavor profile. To this end, early- and late-harvested grapes of the Grüner Veltliner variety were fermented both without enrichment (10.9% vol and 12.1% vol, respectively) and with enrichment to 13.3% vol and 14.3% vol, respectively. The enriched wines were subsequently dealcoholized in steps of 0.7% vol, up to a total reduction of 2.1% vol. During alcohol reduction via membrane distillation with hydrophobic membranes, the effect of saturating the stripping water with nitrogen or carbon dioxide on product quality was also investigated. It was found that carbon dioxide resulted in wines with markedly more fruity and fresher characteristics. Chemical analyses showed that sugar and acid concentrations remained unaffected by membrane distillation. However, reductions were observed in ethyl acetate (14–44%), methanol (6–28%), and higher alcohols. The extent of reduction in volatile compounds was proportional to the degree of dealcoholization but did not negatively affect quality. Sensory evaluation was conducted by officially trained wine tasters using the 20-point scoring system. In all cases, the dealcoholized wines produced with CO₂-saturated stripping water received the highest ratings—specifically, the early-harvested, enriched Grüner Veltliner (initial alcohol content: 13.3% vol) reduced to 12.5% vol, and the late-harvested, enriched Grüner Veltliner (initial alcohol content: 14.3% vol) reduced to 13.5% vol. Descriptive sensory analysis also rated wines with an alcohol reduction of 0.8% vol to 1.5% vol very highly in terms of fruity aroma and flavor, varietal typicity, and overall impression, as confirmed by principal component analysis. Thus, membrane distillation with hydrophobic membranes can be considered an excellent option for modern, future-oriented alcohol management, due to the high product quality achieved, low capital and operational costs, and ease of use.

Keywords: hydrophobic membrane, higher alcohols, chemical analyses, descriptive sensory analysis, principal component analysis (PCA)

Einleitung

Der Klimawandel macht auch vor dem Weinbau nicht Halt und hat große Auswirkungen auf die weinanbauenden Länder und Regionen (Hönig und Schwappach, 2003; Peiseler-Sutter, 2009). Speziell in Ländern mit einem warmen Klima tritt vermehrt das Problem auf, dass Weine einen sehr hohen Alkoholgehalt aufweisen und als brandig und wenig trinkfreudig empfunden werden (Jones et al. 2005; Varela und Varela, 2019, Eder, 2019a). Die durch die Verlängerung der Vegetationsperiode bedingte Zunahme der Mostgewichte und Alkoholgehalte in den Weinen zwingen die weinbautreibenden Länder zum kritischen Hinterfragen ihres Sortiments und ihrer Anbaubaugebiete,

sodass es voraussichtlich zu regionalen Verschiebungen der weinbaulichen Gunstlagen kommen wird (Weiland, 2021, Scheiblhofer et al., 2025).

Österreich als traditionelles Weinbaugebiet, welches vorwiegend für seine Weißweine bekannt ist muss entweder auf andere Sorten umstellen oder geeignete Technologien entwickeln, um mit den traditionellen Sorten weiterhin die für Österreich typischen frischen und fruchtigen Weine mit moderatem Alkoholgehalt anbieten zu können (Eder, 2019b). Möglichkeiten, um das gewohnte Geschmacksbild der österreichischen Weine auch in Zukunft beibehalten zu können, gibt es einige: die

Auswahl kühlerer Lagen, das Adaptieren der Erziehungsmaßnahmen der Reben im Weingarten, Änderungen der Bewirtschaftungsweisen im Laufe der Vegetationsperiode und ein Vorziehen des Lesetermins (Marbè-Sans, 2020, Glatt, 2023). Im Zuge der Traubenverarbeitung gibt es die Möglichkeiten der Zuckerreduktion im Most, beispielsweise durch den in der EU nicht zulässigen Wasserzusatz, Nanofiltration (Garcia-Martin, 2010), Verwendung von zuckerabbauenden Enzymen wie Glucoseoxidasen (Röcker et al., 2016a), Verwendung von Hefen mit geringem Alkoholbildungsvermögen (Röcker et al., 2016b, Rolle et al. 2018) und schließlich die Alkoholreduktion im fertig vergorenen Wein.

Bei den Verfahren zur Alkoholreduktion im Wein sind im Wesentlichen Vakuum-Destillation, Membranverfahren (Umkehrosmose und osmotische Destillation mit hydrophoben Membranen), Adsorption, Hochleistungsultraschall (Martinez-Perez, 2020) und Extraktion mit superkritischen Gasen gebräuchlich bzw. vorstellbar (Takács et al., 2007).

Bei all den Verfahren der Alkoholreduktion bzw. Alkoholentfernung im Wein ist aber zu bedenken, dass Ethanol der wichtigste flüchtige, organische Bestandteil im Wein ist, welcher einen großen Einfluss auf das Aroma und den Geschmack hat. Ethanol ist nicht nur ein olfaktorischer und trigeminaler Stimulus, sondern er verändert auch die Löslichkeit und Flüchtigkeit anderer Substanzen und kann somit die Bitterkeit, die Süße, die Fülle, den sauren Eindruck und die Adstringenz der Weine beeinflussen (Yu und Pickering, 2008, King et al., 2013). So stellten Meillon et al. (2010) bei der Verkostung von mit Umkehrosmose teilweise entalkoholisierten Weiß- und Rotweinen fest, dass professionelle Verkoster die alkoholreicheren Varianten bevorzugten, da diese süßer und harmonischer mit einem längeren Abgang waren, während unerfahrene Koster (Konsumenten) die leichteren Weine besser beurteilten. Hoyer (1999) schreibt, dass bei einem Zusatz von Alkohol in unterschiedlichen Konzentrationen zu einem alkoholfreien

Wein die Intensitäten der Attribute wenig/alkoholisch, stechend/beißend und wärmend signifikant mit steigender Alkoholkonzentration zunehmen, während hingegen die Fruchtigkeit der Weine abnimmt.

Christmann (2006) beschreibt den Vorteil der Alkoholreduktion von Wein damit, dass man den Alkoholgehalt gezielt auf den „soft spot“, den Punkt der optimalen sensorischen Qualität, einstellen kann.

Hinsichtlich der technischen Rahmenbedingungen der Entalkoholisierung mittels Destillation ist festzuhalten, dass diese üblicherweise unter Vakuum (0,07 bis 0,1 bar) und in einem Temperaturbereich zwischen etwa 30 bis 60 Grad Celsius erfolgt. Bedingt durch die relativ niedrigen Destillationstemperaturen und die geringen Verweilzeiten des Weines in der Apparatur kommt es nur zu einer geringen Bildung von Kocharomen und deren Leitsubstanzen wie z.B. Hydroxymethylfurfural (Varavuth, 2009). Ein insbesondere in den Weinbauländern der „Neue Welt“ häufig gebrauchtes Gerät für die Vakuumdestillation ist die spinning cone column (Schleuderkegelkolonne), wobei in einer Rektifikationskolonne mit rotierenden konischen Einsätzen die flüchtigen Bestandteile mithilfe eines Gases bei moderaten Temperaturen aus der Flüssigkeit entfernt werden und der Wein in eine Aroma-, eine Alkohol- und eine Restfraktion getrennt wird. Diese Restfraktion wird dann mit der abgetrennten Aromafraktion und dem Ausgangswein wieder verschnitten und der gewünschte Weintyp bzw. Alkoholgehalt („soft spot“) kann eingestellt werden (Christmann, 2006). Gómez-Plaza et al. (1999) berichten aber, dass in einem bei 25 °C mit Vakuumdestillation entalkoholisierten Wein ein Großteil der flüchtigen Bestandteile insbesondere der aliphatischen Alkohole wie auch der Terpene Linalool, Terpeneol und Benzylalkohol nicht mehr nachweisbar waren.

Bei der Alkoholreduktion mittels Extraktionstechnik wird der Alkohol durch Kohlendioxid von den anderen Weinhaltstoffen abgetrennt. So konnten Agüera et al. (2010) durch Extraktion mit CO₂

während der Gärung den Alkoholgehalt im finalen Wein um 2 % verringern, wobei die Gehalte an Glycerin und Acetat geringfügig und die Gehalte an aromatischen Molekülen wie höhere Alkohole und Ester um 25 % bzw. 45 % verringert wurden. Bessere Ergebnisse werden mit der Extraktion mit superkritischen Gasen wie beispielsweise superkritischem Kohlendioxid erzielt, da hierbei Wasser und Mineralstoffe kaum entfernt und Proteine sowie Kohlenhydrate nicht extrahiert oder denaturiert werden. Da bei der superkritischen Extraktion mit niedrigen Temperaturen gearbeitet wird (Cryoextraktion), bleibt das Aroma gut erhalten und es kommt nur zu geringen thermischen Schädigungen (Medina und Martines 1997). Demgegenüber stellten Carro et. al. (1996) aber fest, dass bei der Extraktion einer Modelllösung mit superkritischem Kohlendioxid bis zu 100 % der Terpene Terpeneol und Citronellol mitextrahiert wurden und somit im finalen Wein fehlten. Dementsprechend kann die Alkoholextraktion mit superkritischem Kohlendioxid bei Weinen, deren Aroma und Sortentypizität durch Terpene geprägt ist, wie zum Beispiel dem Gelben Muskateller oder Traminer, nicht empfohlen werden.

Bei der Alkoholreduktion mittels Adsorptionsverfahren wird mithilfe von Kieselgelen oder anderen porösen Adsorberharzen auf Basis von Styrol-Divinylbenzol-Copolymeren Ethanol adsorbiert und selektiv aus dem Wein entfernt (Wucherpfennig et al., 1989). Diese Verfahren haben sich aber nicht als vorteilhaft erwiesen und werden in der kellerwirtschaftlichen Praxis nicht verwendet.

Anders ist das bei den Membranverfahren, bei denen die Trennung aufgrund unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften zwischen zwei, zumeist flüssigen, Phasen erfolgt, die durch eine engporige Membran (Porengröße $< 1 \mu\text{m}$) getrennt sind (Stauder, 1992; Melin und Rutenbach 2007). Grundsätzlich kann man bei den flüssig/flüssig Verfahren zwischen Umkehrosmose (Druckdifferenz bis 200 bar), Nanofiltration (Druckdifferenz bis 60 bar), Ultrafiltration (Druckdifferenz bis 10 bar) und Elektrodialyse (Triebkraft für Trennung = elektrisches Feld) unterscheiden.

Der Massentransfer erfolgt in einem Membrankontraktor, wobei die Membran eine Vermischung der beiden Phasen verhindert (Gabelman und Hwang, 1999, El Rayess et al., 2024). Das Trennverfahren wird als Membrandestillation bezeichnet, wobei es sich um einen energiesparenden Prozess handelt, der sich gegenüber üblichen Trennverfahren wie Destillation oder Umkehrosmose durch niedrige Prozesstemperaturen und geringere Arbeitsdrücke sowie praktisch 100%igen Rückhalt von Ionen, Makromolekülen, Kolloiden, Zellen und anderen flüchtigen Bestandteilen auszeichnet (Lawson und Lloyd, 1997). Bei der Membrandestillation werden hydrophobe Membranen mit gasgefüllten Poren verwendet, sodass die wässrigen Lösungen nicht in die Poren eindringen können. Nur flüchtigen Komponenten aus der Feedphase ist es möglich, in die Poren zu gelangen, und aufgrund von unterschiedlichen Konzentrationen an den beiden Enden der Poren durch die Membran ins Permeat zu gelangen (Gryta 2004, Weiland, 2021). Bei der Alkoholreduktion in Bier oder Wein wird üblicherweise die osmotische Destillation angewandt, die der Direktkontaktmembrandestillation sehr ähnlich ist. Während bei der osmotischen Destillation aber ein Gradient des osmotischen Druckes die treibende Kraft ist, ist dies bei der Direktmembrandestillation ein Temperaturgradient (Gryta 2004; Varavuth et al., 2009). Hogan et al. (1998) definierten die osmotische Destillation als selektive Entfernung von flüchtigen Bestandteilen aus einer wässrigen Lösung. Dabei verdampft die zu trennende Komponente der Lösung an der Membranoberfläche und wird mittels Dampfdruck in den Membranporen transportiert. Auf der anderen Membranseite kondensiert die zu trennende Substanz wieder und wird in einer Strippinglösung gelöst und abtransportiert. Die Strippinglösung besteht meist aus Wasser oder aus einer Mischung von Wasser und einer geringeren Menge der zu trennenden Substanz. Da bei der selektiven Entfernung von Ethanol aus Wein oder Bier die Wasserkonzentration an beiden Seiten der Membran, an der Feed- und Strippingseite, annähernd gleich hoch ist, kommt es aufgrund des fast identischen Wasserdampf-

druckes zu keinem nennenswerten Austausch von Wasser zwischen den beiden Medien. Die besten Membranmaterialien für die osmotische Destillation sind apolare Polymere mit einer geringen Oberflächenspannung wie beispielsweise Polypropylene, Polyethylene, Polytetrafluorethen (PTFE) und Polyvinylidendifluoride (PVDF). Aus diesen Materialien lassen sich Membranen mit unterschiedlichen Porengrößen und akzeptabler Porenverteilung herstellen (Hogan et al., 1998). Die osmotische Destillation ist sehr gut zur Entfernung von Alkohol aus Wein geeignet, da Ethanol die am stärksten flüchtige Substanz im Wein ist und die höchste Diffusionsgeschwindigkeit durch die Membran aufweist (El Rayess et al., 2024). Je höher der Konzentrationsunterschied an Ethanol zwischen den beiden Lösungen ist, desto höher ist auch das Partialdruckgefälle des Ethanols vom Wein zum Wasser und der Entalkoholisierungsvorgang geht schneller voran (Diban et al., 2008a). Beispielsweise wurde bei Entalkoholisierungsversuchen von Weinen festgestellt, dass in 360 Minuten eine Alkoholreduktion um 34 % bis 38 % Ethanol vom Anfangsgehalt möglich ist. Die wichtigsten Vorteile der osmotischen Destillation sind die Anwendung niedriger, aromaschonender Temperaturen und Drücke, die minimale mechanische Belastung, die Erreichbarkeit hoher Konzentrationsgrade, die sehr gute Zurückhaltung von Ionen, Makromolekülen, Kolloiden und Zellen, sowie die große spezifische Austauschfläche. Als nachteilig wirken sich die hohen Kosten der Membranen und das mögliche Verschmutzen der Membranen durch biologische Beläge („Membranfouling“), sowie die Einschränkung der Anwendungen auf wässrige Lösungen aus (Gutte, 2008, Ulbricht et al., 2009).

Praktische Anwendungen der osmotischen Destillation zur Alkoholreduktion bei Wein haben bisher ergeben, dass bis zu einem Ziel-Alkoholgehalt von rund 6 %vol das Aroma und der Geschmack des Ausgangsgetränks gut erhalten bleiben. Bei Alkoholverringerungen unter einen Gehalt von 6 %vol ist aber eine deutliche Verschlechterung der Qualität des Getränkes in Bezug auf das Ausgangsgetränk feststellbar. Die Praxisversuche mit der

osmotischen Destillation bei Wein haben ergeben, dass die Kostenbelastung per Liter Wein gering ist, da das Pumpen wegfällt und der Energieaufwand für die Instrumente minimal ist, sowie eine Vorbehandlung des Weines und eine Behandlung der Strippinglösung Wasser entfallen (Weiland, 2021, Spiess, 2025). Auch hat sich gezeigt, dass die Alkoholreduktion mit osmotischer Destillation nur zu relativ geringen Aromaverlusten führt, da der Dampfdruck der aromatisch aktiven Substanzen des Weines gering ist. Ein weiterer Grund für den recht guten Aromaerhalt im Wein ist, dass die Löslichkeit vieler aromatisch aktiver Substanzen in der Wasser/Ethanol-Lösung wesentlich höher und deren Dampfdruck geringer ist als in dem reinen Wasser. Daher kommt es zu keinem nennenswerten Durchtritt der Aromen durch die Membran in die Strippinglösung (Hogan et al. 1998). Entalkoholisierungsversuche mit Polypropylen-Membrankontaktoren in Modellweinen ergaben bei einer moderaten Alkoholreduktion von 2 %vol nur geringe Aromaverluste, die die Weinqualität nicht negativ beeinflussten (Diban et al., 2008b). Bei stärkerer Alkoholreduktion wurden aber höhere Aromaverluste bemerkt, so wurden bei einer vollständigen Entalkoholisierung eines Modellweines Aromaverluste von 70 % bei Ethylacetat und 44 % bei Isoamylalkohol analysiert (Varavuth et al., 2008). In einer aktuellen Studie stellten Montecvecchi et al. (2024) fest, dass bei Alkoholreduktion mit hydrophoben Polypropylen-Hohlfasern die Konzentration hydrophiler Aromen wie Alkoholen, Acetaten und Ethylestern von Fettsäuren proportional mit der Alkoholreduktion abnahm, während hingegen Aromastoffe mit polaren Gruppen wie Acetoin, Acetovanillon, C13-Norisoprenoide und gewisse Lactone tendenziell zunahm.

Da die Problematik von alkohollastigen Weißweinen auch in Österreich aufgrund der Klimaerwärmung stetig zunimmt und Erfahrungen mit der teilweisen Entalkoholisierung mit Membrankontaktoren fehlen, wurden an der HBLAuBA für Wein- und Obstbau nachfolgend beschriebene Versuche und Untersuchungen durchgeführt. Dabei ging es neben dem Sammeln von praktischer Erfahrung insbesondere darum, die Auswirkungen

der osmotischen Destillation auf die Gehalte an ausgewählten Aromastoffen und die Sensorik der Weißweine zu ermitteln. Auch sollte der Effekt des Membranverfahrens zur Alkoholreduktion auf die sensorische Weinqualität durch Modifizierungen des Verfahrens hinsichtlich Begasung des Strippingwassers optimiert werden.

Material und Methoden

Material

Die Versuche wurden mit zwei Mosten (jeweils rund 200 kg) der Sorte Grüner Veltliner (früh gelesen = GV-A, spät gelesen = GV-B) vom Standort Agneshof der Höheren Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau, Klosterneuburg durchgeführt. Von jedem der Moste wurde eine mit 4,1 kg Zucker pro 100 Liter Most angereicherte Variante (GV-AA bzw. GV-BA) und eine unveränderte, dh. nicht angereicherte Variante (GV-A, GV-B) vergoren. Die Analysenwerte der vier Weine sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1: FTIR-Analyse der Ausgangsweine für die partielle Entalkoholisierung.

Probe			Rel. Dichte	Vorh. Alko- holgehalt	Zuckergehalt	Gesamtsäure	pH-Wert	flüchtige Sä- ren	Tartrat	Malat	Zitrat	Glycerin
	Anreicherung	Bezeichnung	kg/l	%vol	g/l	g WS/l		g ES/l	g/l	g/l	g/l	g/l
GV A	Nein	GV-A	0,9930	10,9	0,5	5,7	3,4	0,4	2,0	3,0	0,3	5,9
	Ja	GV-AA	0,9906	13,3	1,1	5,9	3,5	0,5	2,2	2,8	0,3	6,8
GV B	Nein	GV-B	0,9922	12,1	4,5	5,2	3,6	0,5	1,8	2,3	0,4	6,7
	Ja	GV-BA	0,9912	14,3	4,5	5,5	3,6	0,6	1,8	2,3	0,3	7,3

Durchführung der partiellen Entalkoholisierung

Die partielle Entalkoholisierung der Weine erfolgte mit der Entalkoholisierungsanlage Vason Mastermind Pilota (Fa. Juclas, Verona, Italien) mit rund 50 Litern Wein pro Variante. Hierbei wurden die beiden angereicherten Ausgangsweine - GV-AA mit 13,5 %vol Alkohol und GV-BA mit 14,2 %vol Alkohol - stufenweise partiell entalkoholisiert. Beim Entalkoholisierungsvorgang wurde der Wein mittels pneumatischer Pumpe angesaugt ($P_{In, Wein} = 1,0$ bar) und über die hydrophobe Membran (Typ Juclas Remover Type 1, 1m² Oberfläche) gepumpt. Auf der entgegengesetzten Seite der Membran wurde bei der ersten Versuchsreihe

das Extraktionsmittel Wasser (Strippingwasser) mit einer pneumatischen Pumpe im Gleichstrom gefördert ($P_{In, Wasser} = 0,6$ bar. Der partiell entalkoholisierte Wein gelangte über die Ausgangsöffnung in das Vorlagengefäß zurück ($P_{OUT, Wein} = 0,2$ bar). Das mit Alkohol angereicherte Wasser wurde ebenfalls in einem Vorlagegefäß gesammelt ($P_{OUT, Wasser} = 0,2$ bar) und im Kreislauf geführt. Um den Sauerstoffgehalt im Wasser niedrig zu halten und somit Oxidationen zu verringern, wurde zunächst das Strippingwasser im Vorlagengefäß kontinuierlich mit Stickstoff begast. Die Durch-

flussgeschwindigkeit des Weines durch die hydrophobe Membran wurde bei zirka 300 Liter/h und bei Wasser mit zirka 150 Liter/h konstant gehalten. Mittels den pneumatischen Pumpen konnte nur ein pulsierender Flüssigkeitsstrom erzeugt werden, welcher als nicht optimal zu bewerten war, jedoch in dieser Größenordnung der Anlage das Bestmögliche in Punkto Flexibilität und Kosten der Versuchsanlage darstellte.

Ein Problem bei der Entalkoholisierung mit hydrophoben Membranen stellt die Gasdurchlässigkeit der Membran dar, wodurch beim Entziehen von Alkohol im Gegenzug mit Wasser auch gelöste Gase durch die Membran zum Wein gelangen können. Dies hat zur Folge, dass der behandelte Wein langsam mit Sauerstoff, welcher im Wasser gelöst ist, angereichert und somit oxidiert wird. Diese Oxidation beschleunigt den Alterungsprozess des Weines, wodurch seine Qualität leidet. Aus diesem Grund wurde das Strippingwasser im Vorratsbehälter zunächst mit Stickstoff begast um die Sauerstoffkonzentration im Wasser so gering wie möglich zu halten. Diese Varianten der ersten Versuchsdurchführung sind im Versuchsplan mit N₂ bezeichnet. Erste Verkostungsergebnisse zeigten jedoch, dass durch die Stickstoffbegasung das für die Frische der Weine verantwortliche Kohlendioxid (CO₂) ausgetrieben wurde, sodass in einer zweiten Versuchsserie anstelle von Stickstoff Kohlendioxidgas zum Austreiben des Sauerstoffs verwendet wurde (= Versuchsvarianten CO₂).

Nach dem Entalkoholisierungsvorgang wurden die entalkoholisierten Weine und das gewonnene Wasser/Alkoholgemisch in Flaschen zu je 0,75 l abgefüllt und bis zu den Analysen oder Verkostungen bei 15 °C gelagert.

Chemische Analysen

Die Analyse der höheren Alkohole, Ethylacetat und Methanol erfolgte mittels Gaschromatographie (GC 5890 II mit Probengeber 7673 und FID, Fa. Agilent) auf einer mit Polyethylenglykol beschichteten Säule (Carbowax 30m, 0,32 ID, 0,25µm

Schichtdicke) nach Brandes und Baumann (2020). Für die Bestimmung der relativen Dichte wurde ein Biegeschwinger Typ DMA 58 der Fa. Anton Paar (Graz, Österreich) verwendet. Für die Analyse der Grundweinparameter wurde ein FTIR-Gerät, Typ Winescan der Fa. Foss (Hamburg, Deutschland) verwendet (Eder et al., 2003). Die Bestimmung des Alkohols erfolgte aus einer 100,00 ml Probe mit dem destillativen Verfahren und Messung der relativen Dichte des Destillats mittels Biegeschwinger der Fa. Paar (Eder et al., 2003).

Sensorische Analysen

Die sensorische Beurteilung der Weine erfolgte auf drei Arten:

Zunächst wurden mittels Duo-Trio-Test von fünf geschulten, amtlichen Weinkostern untersucht, ob zwischen den teilweise entalkoholisierten Weinen und dem angereicherten, nicht entalkoholisierten Grundwein (GV-AA bzw. GV-BA) und den nicht angereicherten Ausgangsweinen (GV-A und GV-B) Unterschiede erkennbar sind.

Als nächstes wurde mittels bewertender Prüfung anhand des 20-Punkte Schemas von acht geprüften Weinkostern der Wiener Landesweinbewertung die allgemeine Qualität der Weine bewertet, wobei Aussehen, Geruch, Geschmack und Abgang beurteilt wurden.

Schließlich wurden die Koster der Wiener Landesweinbewertung auch gebeten, eine beschreibende (deskriptive) Beurteilung der sensorischen Intensitäten der Weine vorzunehmen. Die Ergebnisse der beschreibenden Sensorik wurden mittels Varianzanalyse mit dem Programm Senstools Version 3.1.4 (Fa. OP&P Product Research BV) nach Busch-Stockfisch et al. (2008) ausgewertet. Diese Ergebnisse wurden einer Hauptkomponentenanalyse unterzogen, um die Ausprägung der einzelnen sensorischen Merkmale in den verschiedenen Varianten besser darzustellen und eventuelle Unterschiede erkennen zu können.

Ergebnisse und Diskussion

Weinparameter

In Tab. 2 und 3 sind die wesentlichen Grundanalysenwerte der teilentalkoholisierten Weine den Ausgangswerten der nicht angereicherten bzw. angereicherten Grundweine gegenübergestellt. Unabhängig von der erwünschten Alkoholreduzierung sieht man, dass infolge der additiven Anreicherung nicht nur der Alkohol- sondern auch der Glyceringehalt um rund 1 g/l zugenommen hat. Dies entspricht der gut bekannten Tatsache, dass während der alkoholischen Gärung ca. 8 % des Zuckers in das Nebenprodukt Glycerin umgewandelt werden (Würdig et al., 1989). Dies sollte aber keine Auswirkungen auf die Sensorik der Weine haben, da sogar gut trainierte Koster keinen Unterschied zwischen dem Ausgangswein und einem mit 3 g/l Glycerin angereicherten Wein feststellen können (Ribereau-Gayon et. al. 2007).

Vergleicht man die Werte der nicht teilentalkoholisierte Variante (GV AA) mit den verschiedenen teilweise entalkoholisierten Varianten kann festgestellt werden, dass bis auf den Ethanolgehalt die Werte praktisch ident sind (Tab. 2). Dies bedeutet, dass das gewählte partielle Entalkoholisierungsverfahren mittels Membrandestillation keinen Einfluss auf die wesentlichen Grundparameter der Weine, ausgenommen natürlich Alkohol, nimmt. Die wesentlichen Weininhaltsstoffe gehen während des Entalkoholisierungsprozesses weder verloren noch werden sie umgewandelt oder angereichert.

In Abb. 1 ist beispielhaft für die osmotischen Destillation der Verlauf des Alkoholgehaltes der Probe GV AA CO₂ 12,5 %vol (teilweise Entalkoholisierung des angereicherten Weines A bis auf 12,5 %vol und Begasung des Wassers mit Kohlendioxid) während des Entalkoholisierungsverfahrens dargestellt. Beginnend bei 13,3 %vol Alkohol im Wein und 0 %vol Ethanol im Wasser, wurden alle drei Minuten eine Weinprobe und eine Wasserprobe aus dem jeweiligen Vorlagebehälter gezogen und der Alkoholgehalt mittels FT-IR Analyse bestimmt. Es ist ein harmonischer Verlauf der Alkoholabnahme im Wein zu beobachten. Es dauerte 33 Minuten bis der gewünschte Alkoholgehalt von 12,5 %vol Alkohol erreicht wurde.

Abb. 2 zeigt die Veränderungen des Alkoholgehaltes in der Probe GV BA CO₂ 13,0 %vol (teilweise Entalkoholisierung des angereicherten Weines B bis auf 13,0 %vol und Begasung des Wassers mit Kohlendioxid) während des Membrandestillation. Nach 60 Minuten Behandlung mittels der Membrandestillation wurde der Endalkoholgehalt von 12,9 %vol Ethanol im Wein erreicht, wobei der Alkoholgehalt im Strippingwasser bis auf 8,0 %vol Alkohol anstieg.

Tab. 2: Grundparameter des Ausgangsweins Grüner Veltliner A mit der angereicherten und den partiell entalkoholisierten Varianten.

Probe	Rel. Dichte	Eff. Alkoholgeh. FTIR	Eff. Alkoholgeh. destillativ	Reduz. Substanzen		Fructose		Glucose		Gesamt-säuren		pH-Wert		flüchtige Säuren		Tartrat		Malat		Zitrat		Glycerin	
				g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g WS/l	g WS/l			g ES/l	g ES/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l
GV A (keine Anreicherung) GV AA	0,9930	10,9	10,8	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	5,7	3,4	3,4	0,4	0,4	2,0	2,0	3,0	0,3	0,3	0,3	0,3	5,9	5,9
(Angereichert, nicht teilentalkoholisiert)	0,9906	13,3	13,3	1,1	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5	5,9	3,5	3,5	0,5	0,5	2,2	2,2	2,8	0,3	0,3	0,3	0,3	6,8	6,8
GV AA 12,5 N2	0,9917	12,4	12,4	1,0	1,5	0,6	1,5	0,6	0,6	5,7	3,5	3,5	0,5	0,5	2,0	2,0	2,8	0,3	0,3	0,3	0,3	6,7	6,7
GV AA 12,0 N2	0,9927	11,8	11,7	1,0	1,5	0,6	1,5	0,6	0,6	5,9	3,5	3,5	0,5	0,5	2,2	2,2	2,9	0,4	0,4	0,4	0,4	6,9	6,9
GV AA 11,2 N2	0,9934	11,2	11,1	0,9	1,4	0,6	1,4	0,6	0,6	5,9	3,5	3,5	0,5	0,5	2,3	2,3	3,0	0,3	0,3	0,3	0,3	6,8	6,8
GV AA 12,7 CO2	0,9913	12,8	12,7	1,0	1,6	0,5	1,6	0,5	0,5	5,8	3,5	3,5	0,5	0,5	2,0	2,0	2,8	0,3	0,3	0,3	0,3	6,9	6,9
GV AA 12,5 CO2	0,9916	12,5	12,5	1,0	1,5	0,6	1,5	0,6	0,6	5,8	3,5	3,5	0,5	0,5	2,1	2,1	2,8	0,3	0,3	0,3	0,3	6,9	6,9

Tab. 3: Grundparameter des Ausgangsweins Grüner Veltliner B mit der angereicherten und den partiell entalkoholisierten Varianten.

Probe	Rel. Dichte	Eff. Alkoholgeh. FTIR	Eff. Alkoholgeh. destillativ	Reduz. Substanzen		Fructose		Glucose		Gesamt-säure		pH-Wert		flüchtige Säuren		Tartarat		Malat		Zitrat		Glycerin	
				g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g WS/l	g WS/l			g ES/l	g ES/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l
GV B (keine Anreicherung) GV BA	0,9922	12,1	12,0	4,5	4,7	0,7	4,7	0,7	0,7	5,2	3,6	3,6	0,5	0,5	1,8	1,8	2,3	0,4	0,4	0,4	0,4	6,7	6,7
(Angereichert, nicht teilentalkoholisiert)	0,9912	14,3	14,3	4,5	4,8	0,3	4,8	0,3	0,3	5,5	3,6	3,6	0,6	0,6	1,8	1,8	2,3	0,3	0,3	0,3	0,3	7,3	7,3
GV BA 13,5 CO2	0,9920	13,7	13,6	4,6	4,8	0,6	4,8	0,6	0,6	5,4	3,6	3,6	0,6	0,6	1,7	1,7	2,3	0,4	0,4	0,4	0,4	7,3	7,3
GV BA 13,0 CO2	0,9930	13,0	12,9	4,7	4,9	0,8	4,9	0,8	0,8	5,5	3,6	3,6	0,6	0,6	1,8	1,8	2,5	0,4	0,4	0,4	0,4	7,3	7,3
GV BA 12,2 CO2	0,9940	12,3	12,3	4,8	4,9	0,7	4,9	0,7	0,7	5,5	3,6	3,6	0,6	0,6	1,8	1,8	2,5	0,3	0,3	0,3	0,3	7,3	7,3

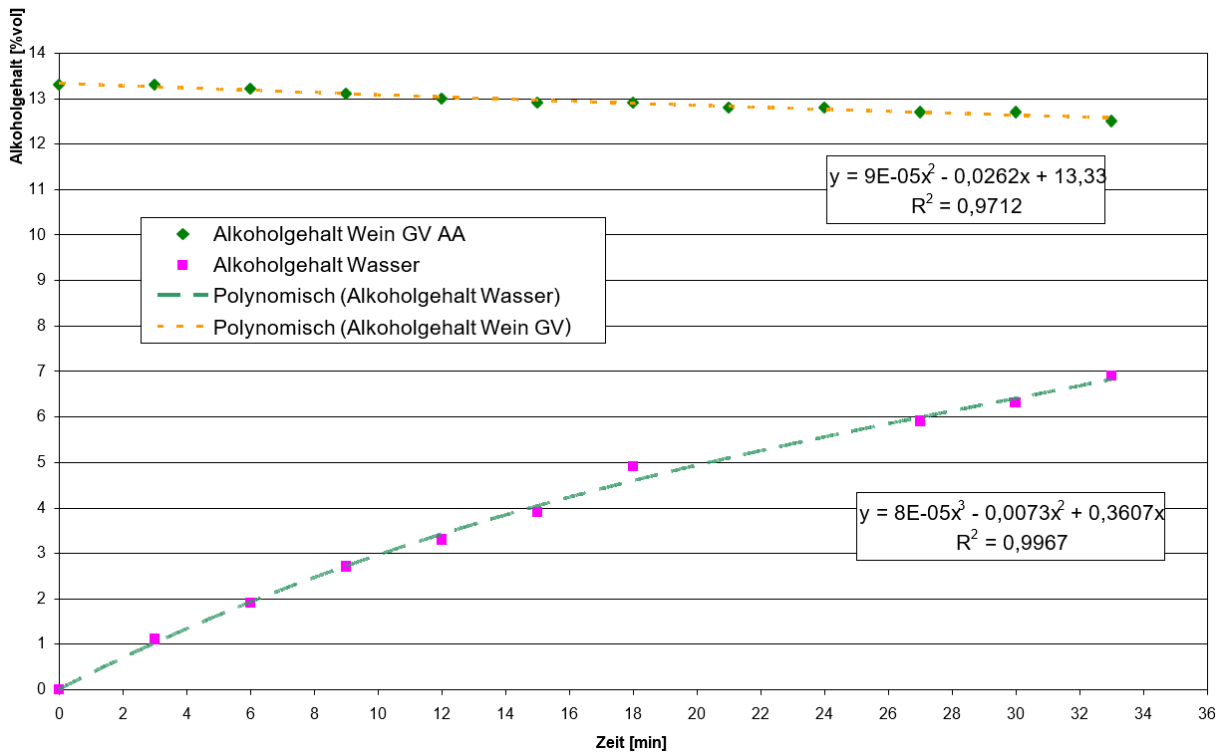


Abb. 1: Alkoholgehalte im teilentalkoholisierten Wein GV AA CO2 12,5 %vol und in der wässrigen Strippinglösung

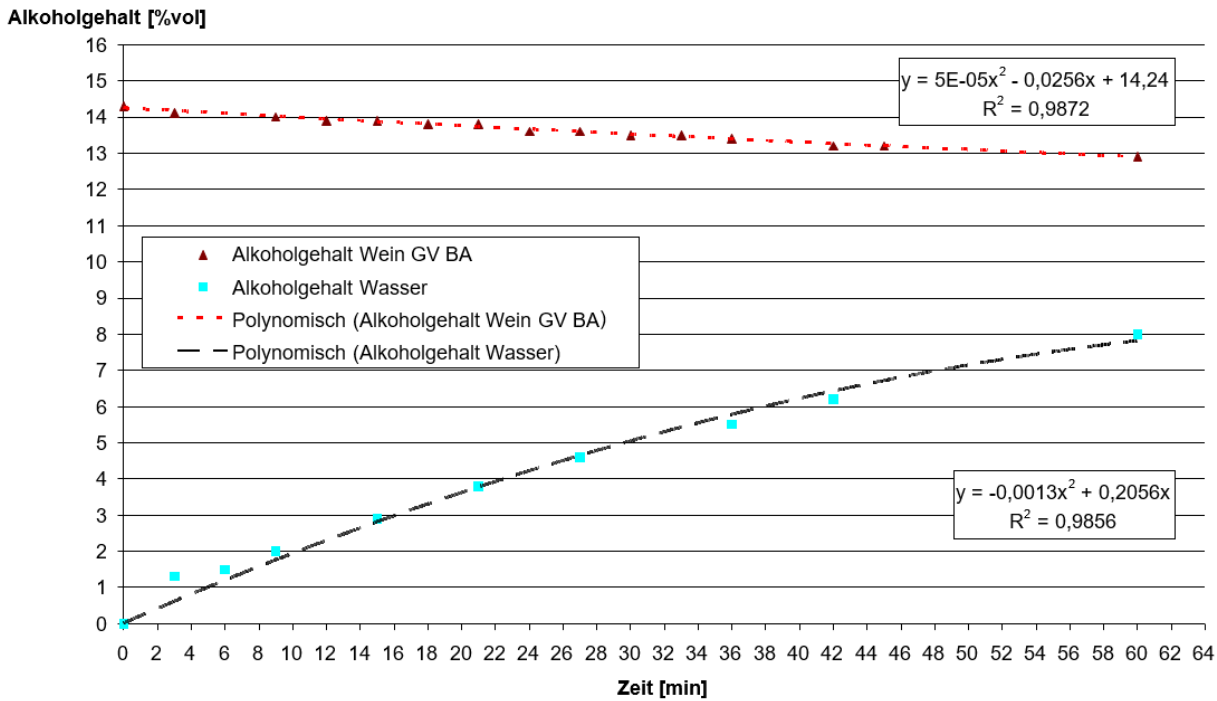


Abb. 2: Alkoholgehalte im teilentalkoholisierten Wein GV BA CO2 13,0 %vol und in der wässrigen Strippinglösung.

Wie in Tab. 2 und 3 gezeigt, hatte die teilweise Entalkoholisierung keinen Einfluss auf die Gehalte der Hauptinhaltsstoffe wie Säuregehalt, Gehalt an reduzierenden Substanzen, Säureanionen etc. Bei den dem Ethanol verwandten flüchtigen Minorweinbestandteilen, den höheren Alkoholen und Acetaten sieht dies doch anders aus. Aufgrund der geringen Molekülgröße und der dem Alkohol ähnlichen physikalischen Eigenschaften kam es zu Abnahmen dieser Substanzen, die bei der Variante GV AA 11,2 N₂ mit der längste Entalkoholisierungszeit mit einer Konzentrationsverringering von Ethylacetat um 44 % (Tab. 3) am stärksten ausgeprägt war. Aber auch bei der Variante GV BA 12,2 CO₂ wurde eine starke Verringerung des Ethylacetat-Gehaltes um 39 Prozent (Tab. 3) festgestellt. Vermutlich sind die Abnahmen auf ein Verdampfen des Ethylacetats und in Folge den Übergang von der Weinphase in die Gasphase in den Membranporen zurückzuführen, wo es entweder verbleibt oder in die Wasserphase (Strippingphase) abgegeben wird. Eine ähnlich hohe Abnahme der Ethylacetat-Gehalte wurde bereits von Diban et. al (2009) beschrieben, die bei deutlich längeren Entalkoholisierungszeiten von 360 Minuten Abnahme des Ethylacetat-Gehaltes um bis zu 70 % feststellten. Aus qualitativer Sicht ist eine Abnahme der Ethylacetat-Gehalte aber kein Nachteil, da diese Substanz bei Überschreitung eines kritischen Schwellenwertes von rund 80 mg/l dem Wein einen Geruch nach Nagellackentferner und

Klebstoff verleiht (Eder, 2000). Auch Ribèreau-Gayon et al. (2008) publizierten, dass Ethylacetat in Konzentrationen über 160 mg/l einen negativen Einfluss auf die Weinsensorik hat. Ein Verlust an Ethylacetat im Zuge der Ethanolreduzierung mittels Membran kann also von Vorteil sein. Die Verluste von Methanol, 1-Propanol und Isopentanol betrugen bei der am stärksten entalkoholisierten Variante GV AA 11,2 N₂ 15 bis 19 %. Beim spät gelesenen Grünen Veltliner (GV BA) waren die Verluste der höheren Alkohole mit 25 bis 28 % deutlich höher als beim früh gelesenen Grünen Veltliner GV AA, was vermutlich auf den höheren Alkoholgehalt und die dadurch bedingt höhere Flüchtigkeit der Inhaltsstoffe zurückzuführen ist (Clarke und Bakker, 2004). Die Analysendaten bestätigen auch die Aussagen von Monteverchi et al. (2024), wonach die Konzentration höherer Alkohole, Acetate und Ester bei der Alkoholreduktion mit hydrophoben Membranen verringert werden. Die grafische Darstellung der Konzentrationen und Verläufe von Methanol und höheren Alkoholen befindet sich für den Wein GV AA in der Abb. 3 sowie für den Wein GV BA in Abb. 4. Man erkennt sehr gut die Abnahme der Konzentration dieser Inhaltsstoffe mit der zunehmenden Dauer der Entalkoholisierung und der einhergehenden Ethanolabnahme (Anmerkung: Die Abbildungen sind von rechts nach links zu lesen). Die gesamten Verluste der flüchtigen Substanzen sind in Tab. 4 zusammengefasst.

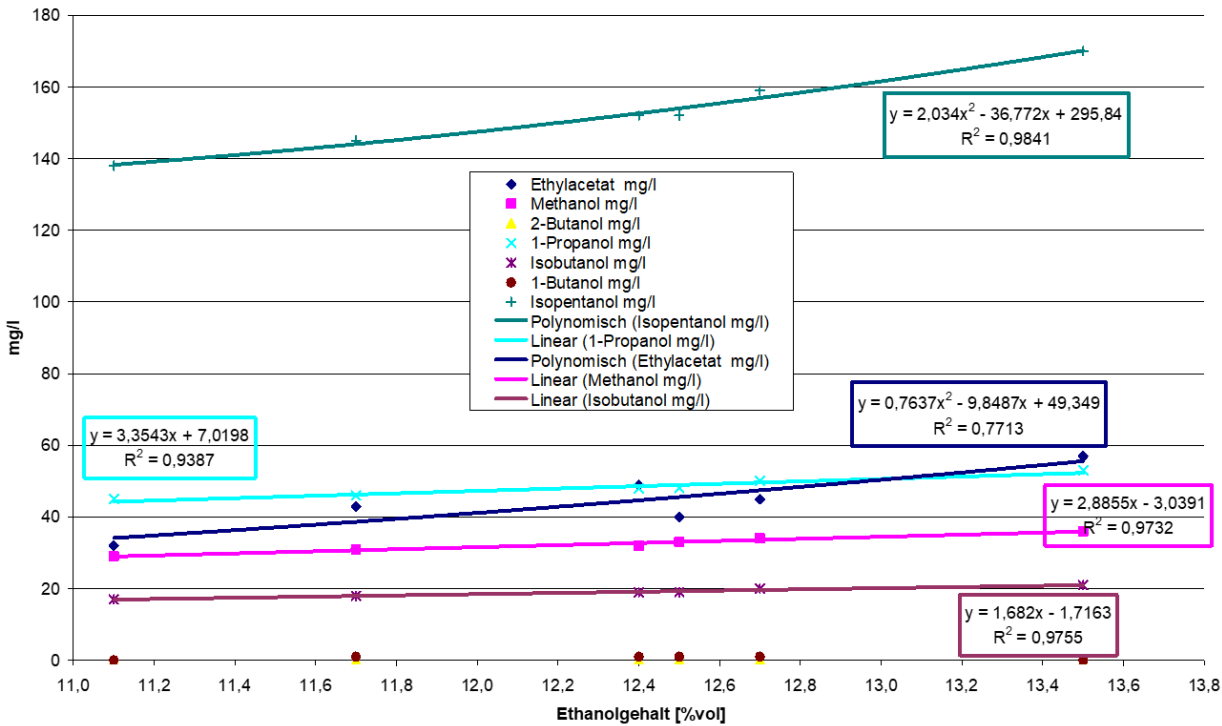


Abb. 3: Verlauf der Abnahme der Gehalte von Methanol, höheren Alkoholen und Ethylacetat während der teilweisen Entalkoholisierung von Wein GV AA (die Kurvenverläufe sind von rechts nach links zu lesen)

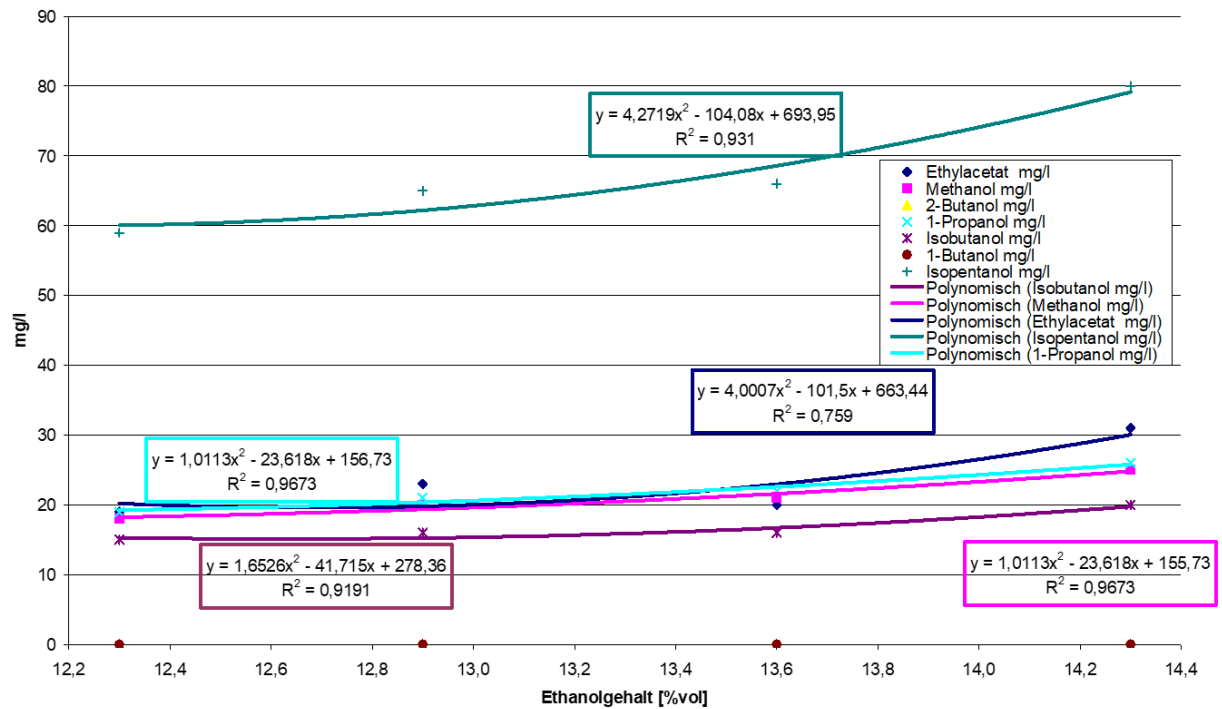


Abb. 4: Verlauf der Abnahme der Gehalte von Methanol, höheren Alkoholen und Ethylacetat während der teilweisen Entalkoholisierung von Wein GV BA (die Kurvenverläufe sind von rechts nach links zu lesen)

Tab. 4: Prozentuelle Abnahme an Ethylacetat, Methanol und höheren Alkoholen während der teilweisen Entalkoholisierung der Weine

Probe	Alkohol	Ethylacetat	Methanol	1-Propanol	Isobutanol	Isopentanol
	%vol	%	%	%	%	%
Früh geernteter Grüner Veltliner						
GV-AA keine Entalk.	13,5					
GV-AA 12,7 CO ₂	12,7	21	6	6	5	6
GV-AA 12,5 CO ₂	12,5	30	8	9	10	11
GV-AA 12,5 N ₂	12,4	14	11	9	10	11
GV-AA 12,0 N ₂	11,7	25	14	13	14	15
GV-AA 11,2 N ₂	11,1	44	19	15	19	19
Spät geernteter Grüner Veltliner						
GV-BA keine Entalk.	14,3					
GV-BA 13,5 CO ₂	13,6	35	16	15	20	18
GV-BA 13,0 CO ₂	12,9	26	20	19	20	19
GV-BA 12,2 CO ₂	12,3	39	28	27	25	26

Sensorische Untersuchungen

Beim direkten sensorischen Vergleich der partiell entalkoholisierten Varianten mittels Duo-Trio Test wurden bei den Weinen der Serie GV-A signifikante Unterschiede zwischen der nicht entalkoholisierten angereicherten Variante GV-AA und der Varianten GV-AA N₂ mit 11,2 %vol Alkohol (16 richtige von 20 Antworten, $p = 0,01$ %) und der Variante GV-AA CO₂ mit 12,7 % vol Alkohol (15 richtige von 20 Antworten, $p = 0,01$ %) gefunden. Die Variante GV-AA CO₂ mit 12,5 %vol konnte nicht von der nicht entalkoholisierten Variante unterschieden werden (11 richtige von 20 möglichen Antworten), was man als durchaus positives Ergebnis und Beweis für die Produktschonung des Prozesses bewerten kann.

Bei den spät gelesenen Weinen der zweiten Serie (GV-B) wurde nur die Variante GV-BA CO₂ 12,2 von der angereicherten, nicht entalkoholisierten Variante (GV-BA) signifikant unterschieden (17 richtige von 20 Antworten, $p = 0,01$ %). Alle anderen Unterschiedsprüfungen ergaben keinen signifikanten Unterschied, was bedeutet, dass alle partiell entalkoholisierten Varianten sensorisch statistisch nicht signifikant von der angereicherten Ausgangsvariante unterscheidbar waren. Mit anderen Worten kann man sagen, dass die geschulten Koster zwischen den teilentalkoholisierten

Weinen und dem Ausgangswein keine sensorischen Unterschiede wahrnehmen konnten, was als Beleg für die Eignung des Verfahrens angesehen werden kann. Der Einfluss des reduzierten Alkoholgehaltes dürfte bei einer Differenz von 2,1 %vol Alkohol bei diesem Weintyp zu niedrig sein um statistisch gesichert einen sensorischen Unterschied zwischen dem Ausgangswein und den teilweise entalkoholisierten Weinen feststellen zu können. Da es sich bei diesem Wein um einen spät gelesenen reifen Grünen Veltliner gehandelt hat, sind die Matrixeinflüsse durch andere nicht untersuchte Weinhaltstoffe bei der Variante GV-BA höher als bei der früh gelesenen Variante GV-AA, bei der die Versuchsvarianten mit einem Unterschied von 0,7 %vol Alkohol unterschieden werden könnten.

Bei der sensorischen Bewertung nach dem 20 Punkte Schema im Zuge der Wiener Landesweinbewertung ergab sich, dass die teilweise entalkoholisierten Weine besser als der nicht entalkoholisierte aber angereicherte Grundwein (GV-AA) bewertet wurden. Bei den früh gelesenen Weinen GV-AA wurde die mit CO₂ im Strippingwasser auf 12,5 % vol entalkoholisierte Variante mit 14,9 Punkten am besten beurteilt. Als zweitbesten Wein wurde die Variante GV-AA CO₂ 12,7 mit 14,1 Punkten bewertet. Der nicht entalkoholisierte, angereicherte Grundwein erhielt demgegenüber nur 12,9

Punkte. Die statistische Auswertung ergab, dass sich die mit CO₂ im Strippingwasser auf 12,5 % teilentalkoholierte Variante (GV-AA CO₂ 12,5 %vol) signifikant von den mit N₂ im Strippingwasser entalkoholisierten Varianten und auch vom angereicherten Grundwein (GV-AA) unterscheidet.

Auch bei der später gelesenen Variante (GV-BA) wurden die teilweise entalkoholisierten Varianten bevorzugt, wobei aufgrund der Ergebnisse der ersten Versuchsserie nur CO₂ zum Begasen des Strippingwassers verwendet wurde. Die auf 13,5 %vol reduzierte Variante wurde mit 15,1 Punkten als sehr guter Wein beurteilt. An zweiter Stelle lag knapp dahinter der auf 13,0 %vol alkoholreduzierte Wein mit 14,8 Punkten. Die nicht entalkoholisierte, angereicherte Variante (GV-BA) mit 14,3 %vol vol Ethanol wurde mit 14,4 Punkten eingestuft. Der nicht angereicherte Grundwein (GV-B) erhielt mit 13,0 Punkten die schlechteste Bewertung.

Deskriptive sensorische Bewertung

Die Ergebnisse der deskriptiven Bewertung der Weine des früh gelesenen Grünen Veltliners (GV-A) sind in Abbildung 5 in Form eines Spiderwebs dargestellt. Die nicht angereicherte Ausgangsvariante (GV-A) mit 11,2 %vol Alkohol wurde als sortentypisch mit einem fruchtigen Geruch und Geschmack, sowie als frisch und spritzig bewertet. Die angereicherte, aber nicht entalkoholierte Variante war fruchtig im Geruch, frisch und spritzig im Geschmack, aber brandig am Gaumen und hatte einen langen Körper und Abgang sowie eine gute Harmonie und mittelmäßige Sortentypizität und einen ebensolchen Gesamteindruck. Bei den teilweise auf 12,5 bzw. 12,7 %vol entalkoholisierten Weinen mit CO₂ im Strippingwasser wurden Körper, Abgang, Harmonie, Sortentypizität, fruchtiger Geschmack, sowie frisch-spritziger Geschmack praktisch gleich gut wie bei dem angereicherten Grundwein (GV-AA) beurteilt. Hinsichtlich des bitter-adstringierenden Geschmacks wurden die teilweise entalkoholisierten Varianten besser eingestuft als der Grundwein. Die gute Bewertung der Weine zeigt, dass die angewandte Alkoholreduzierung einen positiven Effekt auf die Harmonie hatte und die anderen sensorischen Attribute nur gering beeinflusste. Die sensorische Bewertung ergab auch, dass die mit CO₂ im Strippingwasser teilweise entalkoholisierten Varianten besser bewertet wurden als die mit N₂ im Strippingwasser entalkoholisierten Varianten, da es diesen an Kohlendioxid fehlte, welches für die Spritzigkeit und Lebendigkeit in den Weißweinen verantwortlich ist.

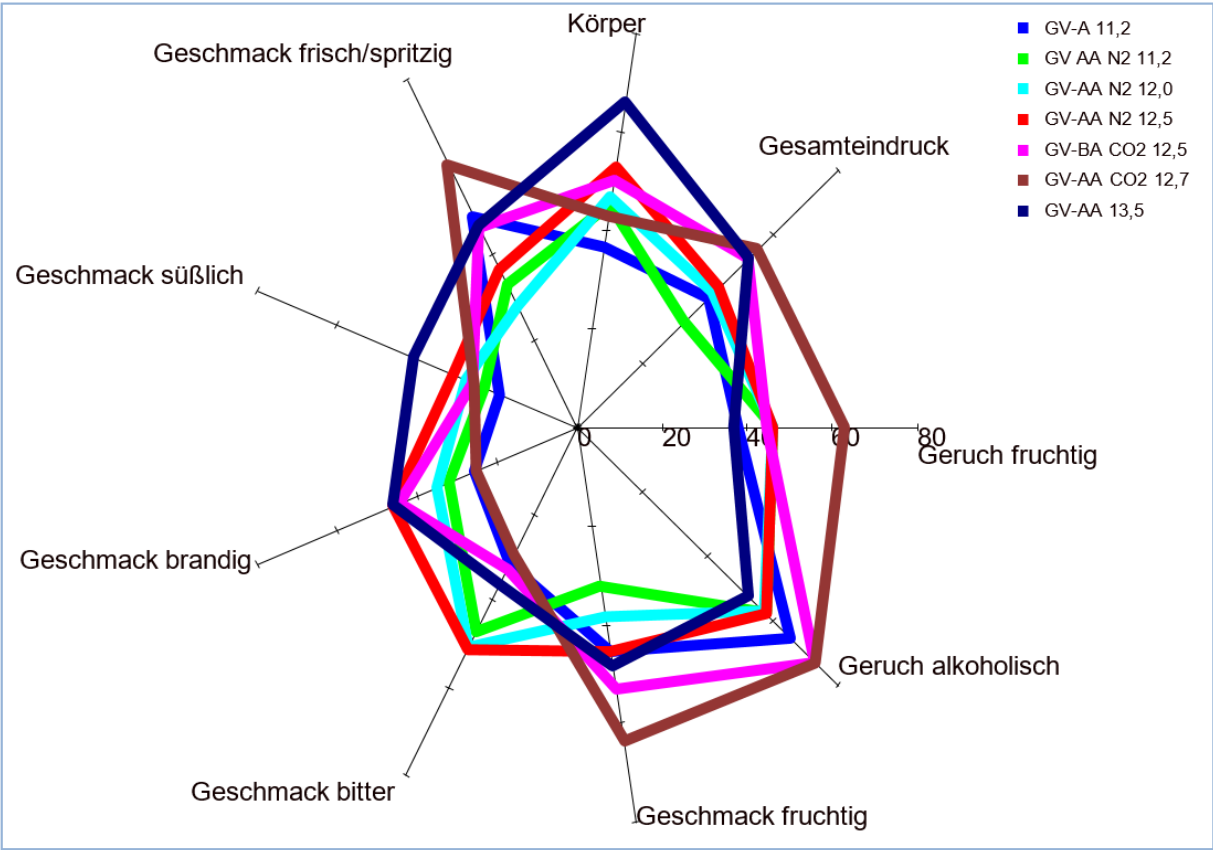


Abb. 5: Darstellung der Ergebnisse der deskriptiven sensorischen Bewertung der Weine GV-A, GV-AA und dessen Entalkoholisierungsvarianten mittels Spiderdiagramm

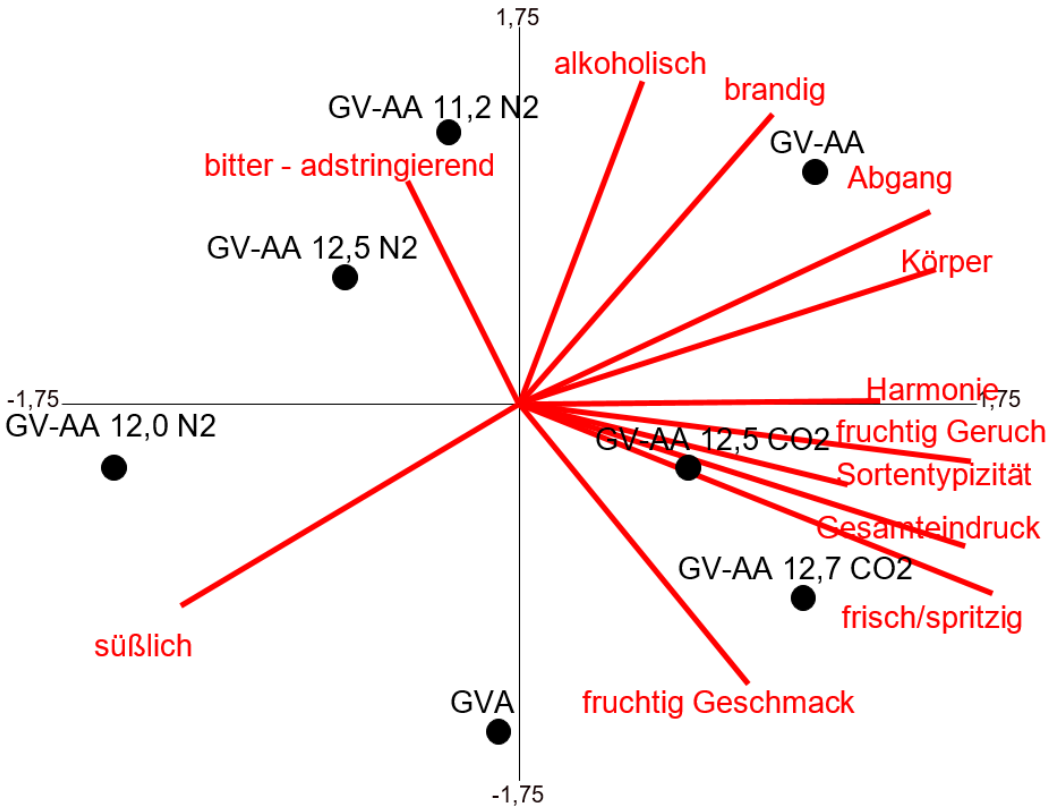


Abb. 6: Darstellung der Ergebnisse der deskriptiven sensorischen Bewertung der Weine GV-A, GV-AA und dessen Entalkoholisierungsvarianten mittels Hauptkomponentenanalyse

In Abb. 6 sind die Ergebnisse der deskriptiven Bewertung der Weine der Serie GV-A in Form einer Hauptkomponentenanalyse dargestellt. In dem räumlichen Bereich fruchtiger Geruch und Geschmack sowie Sortentypizität mit frisch-spritzigem Geschmack und gutem Gesamteindruck finden sich die teilentalkoholisierten Varianten mit 12,5 und 12,7 %vol Alkohol und CO₂ im Strippingwasser wieder. Wie erwartet wurde die angereicherte und nicht entalkoholisierte Variante den Bereichen langer Abgang und voller Körper sowie alkoholisch und brandig zugeordnet. Somit kann man gut erkennen, dass die teilweise Entalkoholisierung die dem Klimawandel zugeschriebenen, negativ bewerteten sensorischen Eigenschaften deutlich verringern und positive Attribute freisetzen kann.

Bei der Verkostung der später gelesenen Weine (GV-B) zeigte sich bei der Auswertung ein differenziertes Bild (Abb. 7). Es ist anzumerken, dass es aufgrund der Ergebnisse der ersten Versuchsserie nur Varianten mit CO₂ zur Begasung des Strippingwassers gab. Zunächst wurde festgestellt, dass der angereicherte, nicht entalkoholisierte Wein (GV-BA) bei den Attributen alkoholischer Geruch, brandiger Geschmack und süßlicher Geschmack besser bewertet wurde, als der nicht angereicherte Wein (GV-B). Hingegen wurde der nicht angereicherte Wein als fruchtiger im Geruch und Geschmack und weniger bitter-adstringierend beschrieben. Dies bestätigt die Aussage von Yu und Pickering (2008) sowie von King et al. (2013), dass der Alkoholgehalt eines Weines einen großen Einfluss auf den fruchtigen, sowie den süßlichen Geschmack und den Gesamteindruck hat.

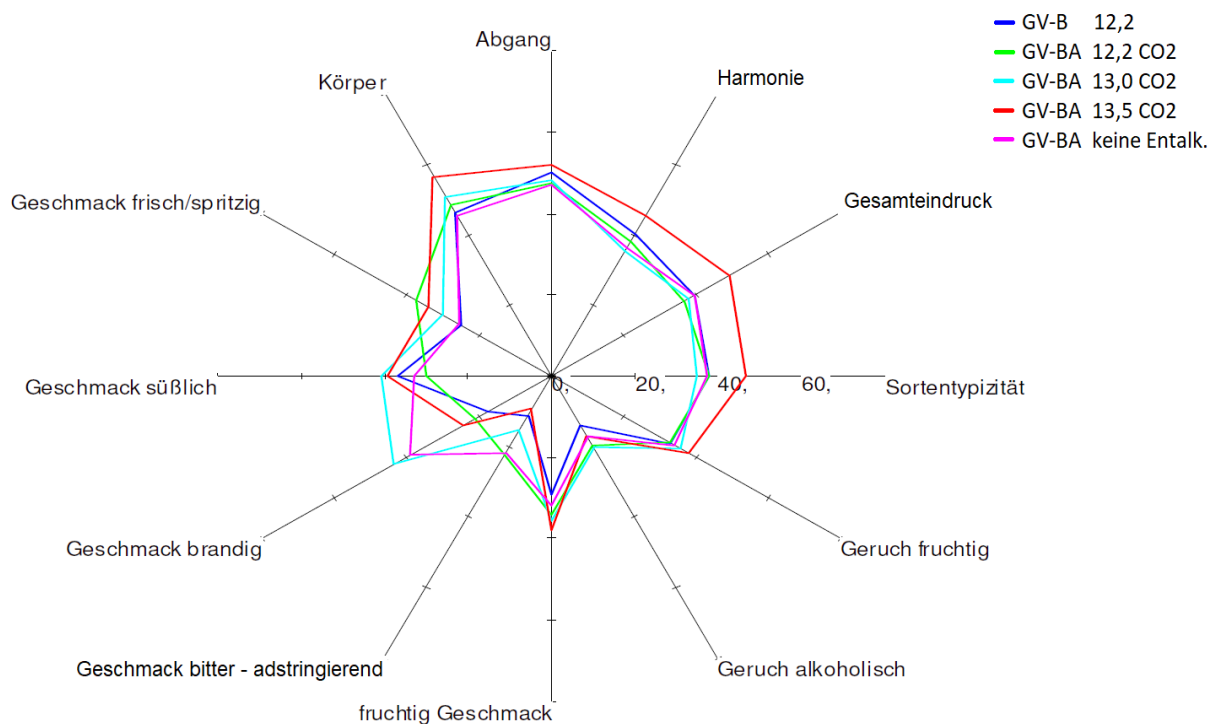


Abb. 7: Darstellung der Ergebnisse der deskriptiven sensorischen Bewertung der Weine GV-B, GV-BA und dessen Entalkoholisierungsvarianten mittels Spiderdiagramm

Die Auswertung der sensorischen Bewertung mittels Hauptkomponentenanalyse zeigt (Abb. 8), dass der teilentalkoholisierte Wein mit 13,5 %vol den Bereichen Sortentypizität, Gesamteindruck, süßlicher Geschmack, Harmonie und langer Abgang zugeordnet und somit sehr gut beurteilt wurde. Demgegenüber wurde die stärker, nämlich auf 13,0 %vol Alkohol eingestellte Variante überraschenderweise als alkoholisch und brandig eingestuft. Auffällig war auch, dass der nicht angerei-

cherte Ausgangswein (GV-B) ebenfalls dem Bereich bitter – adstringierend zugeordnet wurde. Ähnlich sensorisch nachteilig wurde die auf 12,2 %vol entalkoholisierte Variante (GV-BA) beurteilt. Die Verkostung der später gelesenen Grünen Veltliner Varianten ergab somit, dass sich der geringe Entalkoholisierungsprozess positiv auf die Weinqualität ausgewirkt hat, da auch jene Varianten, welche keine Behandlung erfahren hatten, sensorisch schlecht bewertet wurden.

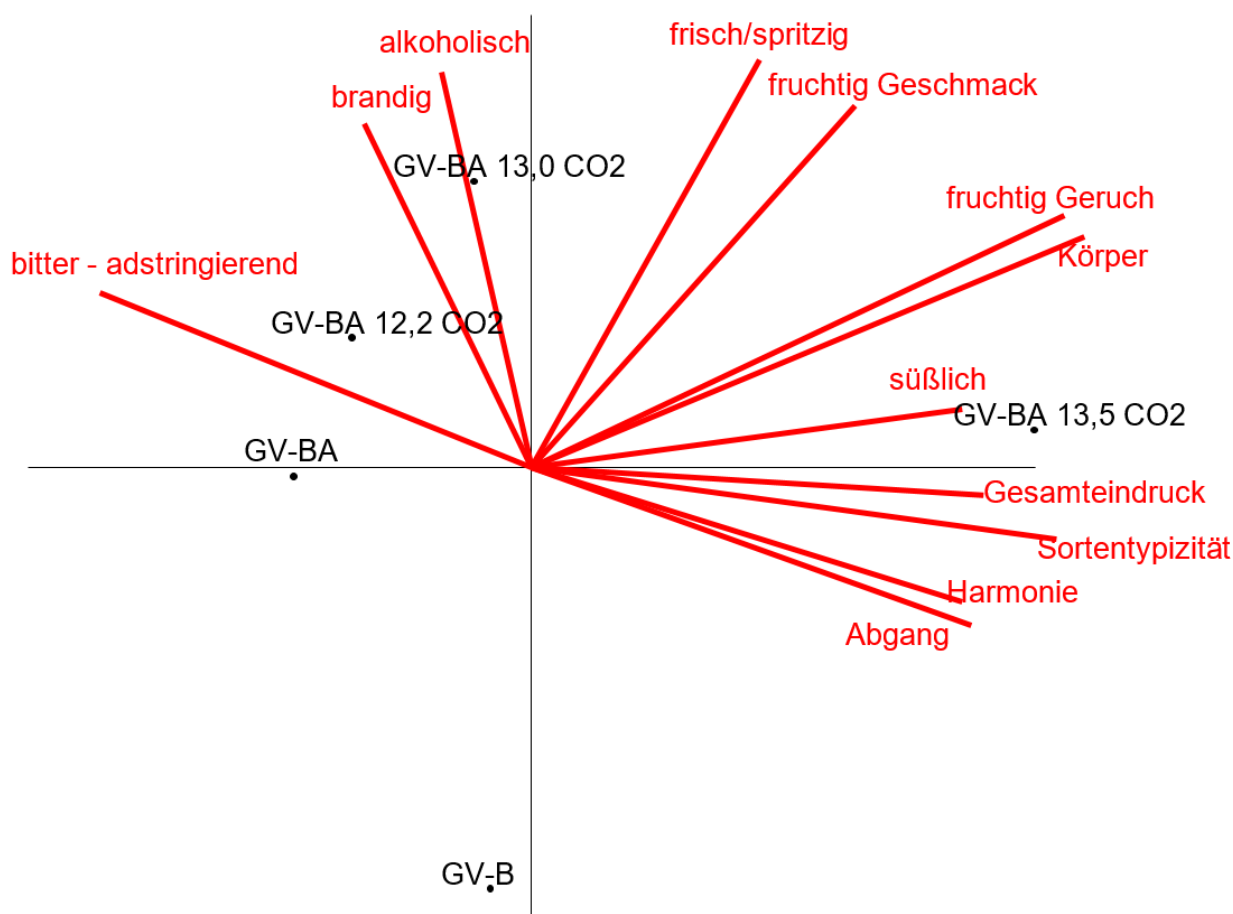


Abb. 8: Darstellung der Ergebnisse der deskriptiven sensorischen Bewertung der Weine GV-B, GV-BA und dessen Entalkoholisierungsvarianten mittels Hauptkomponentenanalyse

Schlussfolgerung für die Praxis

Anhand der Versuchsergebnisse kann festgestellt werden, dass der Aufbau der Membrandestillation mit hydrophoben Membranen sehr einfach und die Bedienung sehr anwenderfreundlich ist. Weiters sind geringe Investitionskosten und niedrige Betriebskosten im Vergleich zu anderen Alkoholreduzierungssystemen ein großes Kaufargument für österreichische Großkellereien oder Maschinengemeinschaften (Spiess, 2025). Die Verkostungsergebnisse der Weine aus den beiden Versuchsserien haben ergeben, dass mit der partiellen Alkoholreduktion mit osmotischer Destillation an hydrophoben Membranen gute Ergebnisse erzielt werden können, wobei sich eine Alkoholreduktion um 0,8 %vol bis 1,3 %vol als optimal her-

ausgestellt hat. Derartig hergestellte Weine wurden als sortentypisch mit fruchtigem Geruch und Geschmack beschrieben. Bei den Bewertungen durch eine unabhängige Kostkommission nach dem 20 Punkteschema wurde jeweils ein teilentalkoholisierter Wein mit Bewertungen von 14,9 bzw. 15,1 Punkten als bester und somit guter bis sehr guter Wein beurteilt. Weine mit stärkerer Alkoholentfernung wurden hingegen als bitter, adstringierend und wenig aromatisch bewertet. Bestätigt wurde auch die bekannte Tatsache, dass sich Weine mit einem geringeren Alkoholgehalt fruchtiger präsentieren, während alkohollastige Weine einen süßlichen Geschmackseindruck hinterlassen.

Literatur

Aguera, E., Bes, M., Roy, A., Camarasa, C., Sablayrolles, J.-M. 2010: Partial removal of ethanol during fermentation to obtain reduced-alcohol Wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 61(1): 53–60.

Brandes, W., Baumann, R. 2020: Untersuchung unterschiedlicher Obstbrände auf ausgewählte im Codex B23 festgelegt Grenzwerte mit Schwerpunkt auf Gesamtester und Furfurale. *Mitteilungen Klosterneuburg* 70 (3): 188-197.

Busch-Stockfisch, M.: Praxishandbuch Sensorik in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung. Hamburg: Behr's Verlag, 21. Auflage 05/09.

Carro, N., Garcia, C. G., Cela, R. 1996: Supercritical Fluid Extraction of free fraction components of aroma in wines and musts. *J. Microcolumn Sep.* 8 (7): 453-600.

Wucherpennig, K., Millies, K.D., Christmann, M., Kolb, E. 1989: Entgeiste(r)t - Verfahren zur Entalkoholisierung von Wein. *Getränkeindustrie* 43 (10): 1010-1018.

Christmann, M. 2006: Die „Spinning Cone Column“ - Segen oder Fluch? Schweiz. Zeitschrift Wein- Obstbau 5: 6-9.

Clarke, R.J., Bakker, J. 2004: Wine flavour chemistry. Weinheim: Blackwell Publishing, 2004, 1st ed.

Diban, N., Athes, V., Bes, M., Souchon, I. 2008a: Ethanol and aroma compounds transfer study for partial dealcoholization of wine using membrane contactor. *J. Membrane Sci.* 311: 136–146.

Diban, N., Arruti, A., Bareclo, A., Puxue, M., Ortiz, I. 2008b: Membrane dealcoholization of different wine varieties reducing aroma losses. Modelling and experimental validation: *Ind. Food Sci. & Emerging Technologies* 20 (10): 259-268.

Eder, R. 2003: Weinanalysen im eigenen Betrieb. Grundlagen, Methoden, Richtwerte. Stuttgart: Eugen Ulmer, 2003, 1. Aufl.

Eder, R. 2000: Weinfehler. Erkennen, Vermeiden, Beheben. Stuttgart: Eugen Ulmer, 2000, 1. Aufl.

- Eder, R.** 2019a: Weinbereitung im Klimawandel. *Der Winzer* 8: 6-9.
- Eder, R.** 2019b: Klimawandel und Weinfehler. *Der Winzer* 9: 10-13.
- El Rayess, Y., Castro-Munoz, R., Cassano, A.** 2024: Current advances in membrane processing of wines: A comprehensive review. *Trends in Food Sci. Technol.* 147: 104453.
- Ford, H., Dolan, M., Goodman, R. S., Pearson, W., Bastian, S., Dupuis-Day, I., Corsi, A.M.** 2025: Raising a glass to lowering alcohol: Insights from wine trade operators. *Grapegrower & Winemaker* 2: 84-86.
- Gabelman, A., Hwang, S.-T.** 1999: Hollow fiber membrane contactors. *J. Membrane Sci.* 159: 61-106.
- Garcia-Martin, N., Perez-Magarino, S., Hernandez, A.** 2010. *Sep. Purif. Technol.* 76: 158-170.
- Glatt, J.** 2023: Klimawandel führt zu häufigeren Extremwetter. *Der Winzer* 9: 5.
- Gómez-Plaza, E., López-Nicolás, J. M., López-Roca, J. M., Martínez-Cutillas, A.** 1999: Dealcoholization of wine. Behaviour of the Aroma Components during the process. *LWT* 32: 384-386.
- Gryta, M.** 2005: Osmotic membrane distillation and other membrane distillation variants. *J. Membrane Sci.* 246: 145–156.
- Gutte, R.** 2008: Prozessbewertung der osmotischen Destillation zur Entalkoholisierung von Wein. Bonn, Deutschland, Universität Bonn, Dissertation.
- Hogan, P. A., Canning, R. P., Peterson, P. A., Johnson, R. A., Michaels, A. S.** 1998: A new option: Osmotic distillation. *Chem. Eng. Progr. New York* 94 (7): 49-62.
- Hönig, P., Schwappach, P.** 2003: Klimaänderung: Wie reagiert die Rebe? *Rebe und Wein* 11: 23-25.
- Hoyer, S.** 1999: Ethanol-Perzeption: Untersuchungen zur Chemorezeption von Ethanol. Hamburg: Diplomarbeiten Agentur diplome.de, 1999.
- Jones, G. Y., White, M. A., Cooper, O. R., Storchmann, K.** 2005: Climate change and global wine quality. *Climatic Change* 73: 319–343.
- King, E.S., Dunn, R. L., Heymann, H.** 2013: The influence of alcohol on the sensory perception of red wines. *Food Quality Preference* 28: 235-242.
- Lawson, K. W., Lloyd, D. R.** 1997: Membrane distillation. *J. Membrane Sci.* 124: 1-25.
- Maillon, S., Dugas, V., Urbano, Ch., Schlich, P.** 2010: Preference and acceptability of partially dealcoholized white and red wines by consumers and professionals. *Am. J. Enol. Vitic.* 61 (1): 42-52.
- Marbé-Sans, D.** 2020: Vermeidung zu alkoholreicher Weine. *Das Deutsche Weinmagazin* 9: 20-21.
- Martinez-Perez, M. P., Bautista-Ortín, A. B., Pérez-Porras, P., Jurado, R., Gómez-Plaza, E.** 2020: Combining high-power ultrasound and enological enzymes during winemaking to improve the chromatic characteristics of red wine. *Foods* 9 (6): 726.
- Medina, I., Martinez, J. L.** 1997: Dealcoholisation of cider by supercritical extraction with Carbondioxide. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 68: 14-18.
- Melin, T., Rautenbach, R.** 2007: Membranverfahren. Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 2007, 3. Aufl.

- Montevecchi, G., Ricci, A., Masino, F., Ferrari, V., Versari, A., Antonelli, A.** 2024: Profile of red wine partially dealcoholized with a membrane-based technique and strategies to mitigate the loss of volatile compounds. *Curr. Research Food Sci.* 8: 100776.
- Peiseler-Sutter, B.** 2009: Weinbau: Klimawandel bestimmt die Forschungsthemen. *Chemische Rundschau* 9: 50-52.
- Ribèreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., Lonvaud, A.** 2007: Handbook of Enology. Volume 1: The Microbiology of Wine and Vinifications. Chichester: John Wiley & Sons, 2007, 2nd ed.
- Ribèreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., Dubourdieu, D.** 2008: Handbook of Enology. Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. Chichester: John Wiley & Sons, 2008 2nd ed.
- Rolle, L., Englezos, S., Torchio, F., Cravero, F., Rio Segade, S., Rantsiou, K., Giacosa, S., Gambuti, A., Gerbi, V., Cocolin, L.** 2018: Alcohol reduction in red wines by technological and microbiological approaches: A comparative study. *Austr. J. Grape & Wine Research* 24: 62-74.
- Röcker, J., Schmitt, M., Pasch, L., Ebert, K., Grossmann, M.** 2016a: The use of glucose oxidase and catalase for the enzymatic reduction of the potential ethanol content in wine. *Food Chem.* 210: 660-670.
- Röcker, J., Strub, S., Ebert, K., Grossmann, M.** 2016b: Usage of different aerobic non-Saccharomyces yeast and experimental conditions as a tool for reducing the potential ethanol content in wines. *Eur. Food Res. Technol.* 242: 2051-2070.
- Scheiblhofer, H., Schreiner, A., Eder, R.** 2025: Fokus auf wenig und fast keinen Alkohol. *Der Winzer* 2: 28-31.
- Spiess, I.** 2025: Wer bietet was an? Überblick zu Lohnentalkoholisierern. *Das Deutsche Weinmagazin* 5: 18-21.
- Stade, E.** 1992: Membranen und Membranprozesse. Weinheim: Wiley-VCH, 1992, 1. Aufl.
- Takács, L., Vatai, G., Korány, K.** 2007: Production of alcohol free wine by pervaporation. *Journal of Food Engineering* 78: 118-125.
- Ulbricht, M., Ansorge, W., Danielzik, I., Koenig, M., Schuster, O.** 2009: Fouling in microfiltration of wine: The influence of the membrane polymer on adsorption of polyphenols and polysaccharides. *Sep. Purif. Technol.* 68: 335-342.
- Varavuth, S., Jiraratananon, R., Atcharyayawut, S.** 2009: Experimental study on dealcoholisation of wines by osmotic distillation process. *Sep. Purif. Technol.* 66: 313-321.
- Varela, J., Varela, C.** 2019: Microbiological strategies to produce beer and wine with reduced ethanol concentration. *Curr. Opinion Biotechnology* 56: 88-96.
- Weiland, J.** 2021: Zu viel Alkohol in 20er Weinen. *Dt. Weinmagazin* 2: 14-17.
- Würdig, G., Woller, R., Breitbach, K.** 1989: Chemie des Weines. Stuttgart: Eugen Ulmer, 1989, 1. Aufl.
- Yu, P., Pickering, G. J.** 2008: Ethanol difference threshold in wine and the influence of mode of evaluation and wine style. *Am. J. Enol. Vitic.* 59(2): 146-152.

Eingelangt am 24. März 2025