

**Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I
der Justus-Liebig-Universität Gießen
Prof. Dr. B. Honermeier**

und

**dem Institut für Weinbau und Rebenzüchtung
- Fachbereich Weinbau -
der Forschungsanstalt Geisenheim
Prof. Dr. H.R. Schultz**

**Entwicklung und Erprobung von Minimalschnittsystemen unter
Berücksichtigung von Ertragsphysiologie, Laubwandstruktur,
Wasser- und Reservestoffhaushalt**

**Dissertation zur Erlangung des akademischen Doktorgrades der
Agrarwissenschaften (Dr. agr.)
im Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen**

Eingereicht von

**Karsten Weyand
aus St. Aldegund - Mosel - Deutschland**

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	IX
1 Einführung	1
1.1 Minimalschnitt – Historie, weltweite Bedeutung.....	3
1.2 Minimalschnitt – Problematik der Adaptierung an die Verhältnisse Mitteleuropas.....	10
1.3 Begriffsdefinition: Minimalschnitt in vorliegender Arbeit	16
1.4 Minimalschnitt – Morphologie, Physiologie, Qualität	17
1.5 Zielsetzung	25
2 Publikationen	28
Manuskript I: Long-term dynamics of nitrogen and carbohydrate reserves in woody parts of minimally pruned and severely pruned Riesling vines in a cool climate.	
Manuskript II: Light interception, gas exchange and carbon balance of different canopy zones of minimally and cane-pruned field-grown Riesling.	
Manuskript III: Physiological Responses of Minimal Pruning Systems to Gibberellic Acid.	
Manuskript IV: Regulating yield and wine quality of Minimal Pruning Systems through the application of Gibberellic Acid.	
3 Diskussion	29
3.1 Langjährige Reservestoffdynamik, Nachhaltigkeit.....	29
3.2 Lichtinterzeption, Gaswechsel, Kohlenstoffbilanz.....	34
3.3 Hormonelle Ertragsregulierung.....	45
4 Zusammenfassung	55
5 Literaturverzeichnis	59

6	Anhang	69
6.1	Einige Gedanken zur Oenologie in Abhängigkeit von der Most- und Weinanalytik sowie eine kurze Bewertung der grundlegendsten Befunde der Verkostungsergebnisse der Weine	69
6.2	Weinbewertung	79
6.3	Literaturverzeichnis des Anhangs	80

Abkürzungsverzeichnis

Ψ	Blattwasserpotential (leaf water potential)
Ψ_{di}	Tagesverlauf des Blattwasserpotentials (di urnal leaf water potential)
Ψ_{pd}	Frühmorgendliches Blattwasserpotential (pre dawn leaf water potential)
A	Assimilationsrate
Akh ha ⁻¹	Arbeitskraftstunden pro Hektar und Jahr
ANOVA	Varianzanalyse (an alysis of var iance)
BFW	Beerenfrischgewicht (b erry f resh w eight)
d ⁻¹	pro Tag (per day)
GA ₃	Gibberellinsäure (gibberellic acid)
LAI	Blattflächenindex (l eam a rea i ndex)
N	Stickstoff (nitrogen)
MESZ	M itte e uropäische S ommer z eit (central european summer time)
MP	Minimalschnittsystem (min imal p runing system)
MP GA ₃ -02/03/04	MP jeweils in den Jahren 2002 <u>bis</u> 2004 mit GA ₃ zum phänologischen Zeitpunkt der Blüte zwecks Ertragsreduzierung behandelt
MP GA ₃ -02/04	MP jeweils in den Jahren 2002 <u>und</u> 2004 (alternierend) mit GA ₃ zum phänologischen Zeitpunkt der Blüte zwecks Ertragsreduzierung behandelt
PflSchuG	P flanzen s chutzmittel g esetz
PPFD	photosynthetische Strahlungsdichte (p hotosynthetic p hoton f lux d ensity)
SE	Standardfehler (s tandard e rror)
VSP	gängiges Bewirtschaftungssystem geschnittener und im Spalier aufrecht erzogener Reben in Deutschland (v ertical s hoot p ositioned)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Mehrjährige MP- (A) und VSP-Systeme (B) auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau während der Dormanzphase im Winter 2002/2003.....	17
Abb. 2: Mehrjährige MP- (A) und VSP-Systeme (B) auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau zu Beginn der Vegetation am 8. May 2003.....	18
Abb. 3: Mehrjährige MP- und VSP-Systeme der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau zu Beginn der Vegetation am 20. May 2003. Deutlich zu erkennen ist die unterschiedlich ausgebildete Blattfläche der geblockten Systeme zu diesem frühen Vegetationszeitpunkt.....	18
Abb. 4: Mehrjährige MP-Systeme auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau nach Abschluss des vegetativen Wuchses zum Zeitpunkt der Blüte im Juni 2003.....	19
Abb. 5: Das Innere mehrjährig minimal geschnittener Reben auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau am 26. May 2003. Es enthält einen hohen Altholzanteil bei geringem bis keinem Anteil an einjährigem Holz, aus dem sich Vegetationspunkte bilden könnten.....	20
Abb. 6: Lichtinterzeption der mehrjährigen MP- (A) und VSP-Systeme (B) am späten Vormittag des 18. Juni 2002. Deutlich zu erkennen ist das unterschiedlich breite Schattenband rechts am Boden zwischen zwei Rebzeilen eines jeden Systems als Folge der unterschiedlichen Lichtinterzeption.....	21
Abb. 7: Typischer Laubwandabschnitt eines mehrjährigen MP-Systems mit an der Peripherie inserierten Trauben auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau vor Reifebeginn des Jahres 2003.....	22
Abb. 8: Typische lockere Trauben der Sorte Riesling eines mehrjährigen MP-Systems (A) sowie eine kompakte Traube mit sich gegenseitig ‚abdrückenden‘ Beeren des VSP-Systems (B) auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau im Juli des Jahres 2003.....	23
Abb. 9: Links: Zur Messung ausgerichtetes Ceptometer auf einem der Rastergitter. Mitte: An einem Rastergitter befestigte Halterung mit oben aufgesetztem externen Lichtsensor. Rechts: Im System MP an repräsentativen Stellen in der Rebgasse	

zwischen zwei Rebzeilen zur Erfassung der Lichtinterzeption angebrachte Rastergitter A und B.....	34
Abb. 10: Räumliche und temporäre Änderung (Uhrzeiten in MESZ) der Lichtinterzeption von Rastergitter A (jeweils untere Hälfte) und B (jeweils obere Hälfte) für MP (linke Seite) und VSP (rechte Seite) zu vier untersuchten Messdurchgängen am Vormittag und zur Mittagszeit des 18. Juni 2002. Jedes der beiden Rastergitter deckt die gesamte Zeilenbreite von 280 cm bei einer Zeilenlänge von je 125 cm ab. Dies entspricht insgesamt 3920 Datenpunkten bei einer abgebildeten Bodenoberfläche von 7.0 m ² je System und Messdurchgang.	36
Abb. 11: Räumliche und temporäre Änderung (Uhrzeiten in MESZ) der Lichtinterzeption von Rastergitter A (jeweils untere Hälfte) und B (jeweils obere Hälfte) für MP (linke Seite) und VSP (rechte Seite) zu vier untersuchten Messdurchgängen am Nachmittag und frühen Abend des 18. Juni 2002. Jedes der beiden Rastergitter deckt die gesamte Zeilenbreite von 280 cm bei einer Zeilenlänge von je 125 cm ab. Dies entspricht insgesamt 3920 Datenpunkten bei einer abgebildeten Bodenoberfläche von 7.0 m ² je System und Messdurchgang.	37
Abb. 12: Blattwasserpotential (Ψ_{pd} und Ψ_{di}) von MP- und VSP-Reben am 5.-6. August (A) und 16.-17. September (B) des Jahres 2003 im Tagesverlauf. Horizontale Linien geben den zur Steuerung einer Bewässerung weißer Rebsorten in Mitteleuropa empfohlenen Schwellenwert von -0.3 MPa (Ψ_{pd}) an. Die Daten zeigen Mittelwerte von je 8 Blättern $\pm$ SE; ANOVA (Holm-Sidak); *: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$	40
Abb. 13: Stomatäre Leitfähigkeit und Blatttemperatur individueller Laubwandsegmente von MP und VSP Reben im Tagesverlauf am 29. Juli 2002. Datenpunkte zeigen Mittelwerte von 2 - 6 Rebblättern $\pm$ SE. Messungen erfolgten in natürlicher Blattposition. Ausgefüllte Dreiecksymbole und durchgezogene Linien stehen für MP, nicht gefüllte Symbole und gestrichelte Linien für VSP.....	42
Abb. 14: Stomatäre Leitfähigkeit und Blatttemperatur individueller Laubwandsegmente von MP und VSP Reben im Tagesverlauf am 15. August 2003. Datenpunkte zeigen Mittelwerte von 2 - 6 Rebblättern $\pm$ SE. Messungen erfolgten in natürlicher Blattposition. Legende analog Abbildung 13.	42
Abb. 15: Stomatäre Leitfähigkeit (A - E) und Netto-Kohlenstoffassimilation (F - J) von MP, MP GA ₃ -02/03/04, MP GA ₃ -02/04 und VSP vor der GA ₃ -Applikation des Jahres 2004 (27. Mai), einen Tag nach der Applikation (16. Juni), während der	

Beerenentwicklung (6. Juli), zu Reifebeginn (3. August) und während der Reife (3. September). Daten zeigen Mittelwerte exponierter Blätter am späten Vormittag mit $n = 8 \pm \text{SE}$. ANOVA (Holm-Sidak): $p \leq 0.05$	48
Abb. 16: Typischer Trieb minimal geschnittener Rieslingreben mit einer Infloreszenz nach zweijähriger Behandlung mit GA_3 (A) sowie mit drei Infloreszenzen unbehandelter Reben (B) vor der Blüte des Jahres 2004.....	51
Abb. 17: Typische Infloreszenz einer minimal geschnittenen Rieslingrebe nach zweijähriger Behandlung mit GA_3 (A) sowie einer unbehandelten und minimal geschnittenen Rieslingrebe (B) vor der Blüte des Jahres 2004.	51
Abb. 18: Aufzuwendende Penetrationskraft einer ebenen Nadelspitze von 0.50 mm Durchmesser einer Federwaage zum Durchdringen intakter Beerenhäute. Individuelle Beeren ($>1.2 \text{ g BFW}$) wurden jeweils an der distalen Seite sowie neben der Narbe beprobt. Daten zeigen Mittelwerte von Beerenpopulationen mit $n = 50 \pm \text{SE}$. ANOVA (Holm-Sidak): $p \leq 0.05$	52
Abb. 19: Erscheinungsform minimal geschnittener Trauben der Sorte Müller-Thurgau nach der Applikation von GA_3 zum Zeitpunkt der Vollblüte (A) sowie unbehandelter Reben (B) unmittelbar vor der Ernte des Jahres 2002.....	53
Abb. A1: Deskriptive Weinbewertung der Versuchsvarianten MP und VSP. A: Jahrgang 2002, Verkostungstermin 3. Dezember 2004, $n = 11$, B: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 30. September 2004, $n = 13$, C: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 22. Juli 2005, $n = 9$	73
Abb. A2: Rangordnungsprüfung der Versuchsvarianten MP und VSP. A: Jahrgang 2002, Verkostungstermin 3. Dezember 2004, $n = 11$, B: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 30. September 2004, $n = 13$, C: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 22. Juli 2005, $n = 9$. Horizontale gestrichelte Linien in den Säulen: Mittelwert, horizontale durchgezogene Linie: Median (sofern dieser vom Mittelwert abweicht), maximale vertikale Ausdehnung der Säulen: 95% Perzentile, Zahlenwerte entsprechen der Rangziffer (DIN 10963) und deuten bei Differenzen >1 auf signifikante Unterschiede ($p < 0.05$).	74
Abb. A3: Deskriptive Weinbewertung der Versuchsvarianten MP, MP GA_3 -02/03/04 und MP GA_3 -02/04. A: Jahrgang 2002, Verkostungstermin 18. November 2004 mit $n = 10$, B: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 30. September 2004 mit $n = 13$, C: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 22. Juli 2005 mit $n = 9$	75

Abb. A4: Rangordnungsprüfung der Versuchsvarianten MP, MP GA ₃ -02/03/03 und MP GA ₃ -02/04. A: Jahrgang 2002, Verkostungstermin 18. November 2004, n = 10, B: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 30. September 2004, n = 13, C: Verkostungstermin Jahrgang 2003, 22. Juli 2005, n = 9. Legende analog Abb. A2.	76
Abb. A5: Deskriptive Weinbewertung der Versuchsvarianten MP GA ₃ -02/03/04, MP GA ₃ -02/04 und VSP des Jahrgangs 2002, Verkostungstermin am 19. November 2004, n = 9.	77
Abb. A6: Rangordnungsprüfung der Versuchsvarianten MP GA ₃ -02/03/03, MP GA ₃ -02/04 und VSP des Jahrgangs 2002, Verkostungstermin am 19. Dezember 2004, n = 9. Legende analog Abb. A2.	77

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Über alle Messdurchgänge einzelner Tage gemittelte prozentuale Lichtinterzeption der Laubwände von MP und VSP getrennt nach Rastergitter A und B sowie die daraus gemittelten Werte eines jeden Systems des Jahres 2002 auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg.	38
Tab. A1: Weinhandelsanalysen der abgefüllten Versuchsweine (MP, MP GA3-02/03/04, MP GA3-02/04, VSP) der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg der Jahre 2002 und 2003.....	70
Tab. A2: Resultate der Unterschiedsprüfungen.	72

1 Einführung

Die Deutsche Weinwirtschaft sieht sich im Rahmen der Globalisierung auf dem heimischen Markt und auf Exportmärkten seit Jahren zunehmender europäischer und internationaler Konkurrenz ausgesetzt. Auf diesen Wettbewerb kann seitens der Traubenproduktion im wesentlichen über die beiden Parameter Qualität und Kosten der Traubenproduktion Einfluss genommen werden.

Die technische Entwicklung der letzten Jahrzehnte führte im Weinbau zu einem hohen Grad der Mechanisierung von direktzugfähigen Weinbergsflächen, wobei sich der Anteil der direktzugfähigen Lagen durch den technischen Fortschritt stark erweiterte. Bei der Bewirtschaftung eines Standardsystems in Direktzuglagen bei 1.8 bis 2.2 m Gassenbreite liegt der Arbeitszeitbedarf bei voller Mechanisierung einschließlich maschineller Ernte bei etwa 250 bis 300 Akh ha⁻¹ (KTBL 2004). Dieser Wert liegt in nur kaum zu mechanisierenden Rebflächen (Steilstlagen, Terrassenlagen) bei deutlich über 1000 Akh ha⁻¹ bis hin zu 1800 Akh ha⁻¹ (KTBL 2004). An diesem Bedarf an Arbeitszeit haben der winterliche Rebschnitt und mit ihm unmittelbar in Verbindung stehende Arbeiten wie das Festbinden des angeschnittenen einjährigen Rebholzes an der Unterstützungsvorrichtung sowie Laub- und Heftarbeiten während der Vegetation einen Anteil von 70 % und mehr (Pool 1995, KTBL 2004). Die Kosten für diesen Aufwand tragen zu einem wesentlichen Teil zu den Gesamtkosten der Traubenproduktion bei. In Mitteleuropa ist in vielen traubenproduzierenden Unternehmen mit direktzugfähigen Lagen bis auf den winterlichen Rebschnitt das Mechanisierungspotential mit derzeit verfügbarer Technologie weitgehend ausgereizt.

Bisherige Bemühungen den Rebschnitt und eventuell folgende Bindearbeiten zu extensivieren zielten im wesentlichen darauf ab, den Zeitaufwand für diesen durch den Einsatz von Maschinen und durch extensivere Schnittmethoden wie einen Zapfenschnitt zu reduzieren. Ein manueller Nachschnitt zur Erhaltung der Qualität, der Traubengesundheit und der Form des Weinbausystems ist hierbei in der Regel unter mitteleuropäischen Anbaubedingungen unumgänglich. Bei der in der Praxis verbreiteten Methode des maschinellen Vorschnittes wird das Weinbausystem als solches folglich kaum verändert, sondern es werden vielmehr die Aufwendungen des Anbaus minimiert (Schultz 2002). Dies trägt zwar zur arbeitszeitlichen Extensivierung bei, lässt aber das höchste Extensivierungspotential in Form eines unterlassenen Rebschnittes in letzter Konsequenz außer Acht.

Erfolgreich praktiziert wird das Konzept eines minimalen Schnittes nicht zuletzt für die Erzeugung guter bis sehr guter Trauben- und Weinqualitäten bei lediglich 50 – 60 Akh ha⁻¹ seit einigen Jahrzehnten mit *Vitis vinifera* Sorten (klassische Weinrebe) in verschiedenen Weinbaugebieten Australiens unter meist warmen bis heißen und trockenen Klimaten sowie in den nördlichen USA mit Vitis-Hybridsorten bei kühlerem Klima und deutlich kürzeren Vegetationszeiten. Teilweise werden Premiumqualitäten mit Hilfe dieses weltweit extensivsten Anbausystems für Reben produziert (Clingeleffer und Possingham 1987, Kidd 1987, Possingham und Clingeleffer 1994).

Unter mitteleuropäischen Begebenheiten fand diese Bewirtschaftungsweise bisher kaum Einzug in die Praxis. Befürchtungen einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit der Reben in Verbindung mit gesteigerten Erträgen und dadurch geringeren Traubenqualitäten sowie einer reduzierten Nachhaltigkeit solcher Bewirtschaftungskonzepte sind hier neben dem Bruch mit der Jahrhunderte alten Tradition die Reben zu schneiden maßgeblich. Studien verschiedener Versuchsansteller zeigten jedoch, dass viele dieser Befürchtungen unbegründet sind und solche Systeme gar Vorteile im Hinblick auf einige dieser vermeintlichen Nachteile bieten können.

Vorliegende Arbeit unternimmt den Versuch bisher offene physiologische Fragen und Zusammenhänge sowie praxisrelevante Probleme minimal geschnittener Reben unter mitteleuropäischen Anbaubedingungen zu bewerten, zu diskutieren und gegebenenfalls Lösungsansätze bereit zu stellen. Ausgiebig befasst sich diese Arbeit über einen mehrjährigen Zeitraum in Form von Feldversuchen daher mit der Nachhaltigkeit solcher Systeme in Bezug auf den Reservestoff- und Wasserhaushalt. Anhand von Gaswechsellmessungen sowie der Messung der Lichtinterzeption werden Minimalschnittsysteme einem geschnittenen Standardsystemen gegenüber gestellt und in Bezug auf ihre Kapazität Kohlenstoff zu akkumulieren bewertet. Ferner wird ein neuartiger Lösungsweg einer generell nötigen Ertragsbegrenzung und damit Qualitätssteigerung nach dem Menge-Güte-Gesetz für minimal geschnittene Reben aufgezeigt, mit dessen Hilfe sich dieses extrem extensive Anbausystem mit Erfolg in der weinbaulichen Praxis Mitteleuropas etablieren lassen könnte

1.1 Minimalschnitt – Historie, weltweite Bedeutung

Managementsysteme zur Kultivierung von *Vitis vinifera* L. Sorten sehen traditionell einen mehr oder weniger starken winterlichen Rückschnitt der vorjährig gewachsenen einjährigen Triebe vor (Winkler *et al.* 1974). Dieser hat vielfältige Auswirkungen auf die Physiologie und die Leistung der Rebe.

Durch einen Rebschnitt während der Dormanz werden unter anderem die Wuchsform des jeweiligen Erziehungssystems aufrecht erhalten und die Anzahl fruchtbarer Winterknospen an den gewünschten Ertrag bei adäquater Qualität sowie die Wüchsigkeit der Rebe an den individuellen Standort angepasst. Die Winterknospen und damit die sich neu entwickelnden Triebe werden aus arbeitswirtschaftlichen, phytosanitären und qualitativen Gründen gleichmäßig innerhalb des jeweiligen Systems verteilt (Winkler *et al.* 1974, Weaver 1976, Tassie und Freeman 1992, Jackson 2000, Vogt und Schruft 2000).

Zusätzlich werden je nach spezifischem Bewirtschaftungssystem und Standortbedingungen ein oder mehrere Grünschnitte (Sommerschnitt) während der Vegetation durchgeführt. Der Wuchs der Reben kann hiermit auch während der Saison an das jeweilige Erziehungssystem und den Standort angepasst und das Verhältnis von vegetativem zu generativem Wuchs beeinflusst werden (Jackson und Schuster 1994, Vogt und Schruft 2000). Auch der Sommerschnitt hat demnach verschiedenartige Auswirkungen auf die Physiologie und die generelle Ertrags- und Qualitätsleistung von Weinreben.

Dieser Managementpraxis gegenüber steht das relativ junge und vor fast 30 Jahren in Australien entwickelte geradezu revolutionäre Bewirtschaftungskonzept eines sehr stark reduzierten (minimalen) bzw. gar unterlassenen winterlichen bzw. sommerlichen Rebschnittes (Clingeleffer und May 1980, Clingeleffer 1983, Clingeleffer 1984). In vielen Weinbauregionen Australiens und einigen wenigen Regionen außerhalb Australiens wird dieses Konzept sehr erfolgreich (ökonomisch und qualitativ) und in großem Umfang eingesetzt. In Australien werden derzeit etwa 65 % der gesamten Rebfläche mechanisch bzw. minimal geschnitten (Clingeleffer *et al.* 2005), wobei der minimal geschnittenen Anteil hier nur bei <5% liegt. Diese Zahl hat sich in den letzten 20 Jahren nicht wesentlich erhöht (Possingham und Clingeleffer 1994). Unter diesen Rebanlagen befinden sich teils sehr angesehene und qualitativ hochwertige Rebflächen (Jackson 2000).

Die physiologischen Grundlagen für die Entwicklung minimal bzw. im Schnitt stark reduzierter Weinbausysteme wurden bereits in den 1930er bis 1950er Jahren entwickelt (Winkler 1958, Winkler *et al.* 1974). Winkler zeigte, dass ungeschnittene Reben eine weitaus höhere ‚Kapazität‘ haben als geschnittene Reben. ‚Kapazität‘ definierte er als die Akkumulation von Trockenmasse in vegetativen und generativen Organen (Winkler 1958). Nach ihm führt jede Entnahme von lebendem, generativen Gewebe zu einer Depression der Gesamtpflanze in der Fähigkeit Trockenmasse zu bilden.

Hierauf hat der Rebschnitt während der Dormanz einen wesentlichen Einfluss, da durch diesen zwischen 85 bis >90 % des jährlichen Wuchses an einjährigen Trieben entfernt werden (Winkler 1958, Winkler *et al.* 1974, Jackson 2000). Dies limitiert im weiteren Verlauf die potentielle Blattfläche einer jeden Rebe, welche weitgehend für die Akkumulation der Trockenmasse verantwortlich ist. Ein Sommerschnitt vermag die Blattfläche weiter zu limitieren, wenn auch ein solcher in der Regel eine geringere depressive Wirkung auf die Kapazität der Reben hat, da die Entnahme an Trockenmasse durch diesen weitaus geringer ist. Winkler (1958) stellte zudem fest, dass sich mehrere Jahre ungeschnittene Reben in Bezug auf das Verhältnis von vegetativen zu generativem Wuchs zu einem gewissen Grad selbst regulieren und dadurch eine Wuchsbalance erreichen. Die Trockenmassebildung balancierter Reben entspricht dabei der maximalen potentiellen Kapazität, die eine Rebe erreichen kann.

Durch einen Mangel an Arbeitskräften und die Verteuerung von Arbeitszeit seit den sechziger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden vermehrt Versuche mit verschiedenen neu entwickelten Maschinen zur Mechanisierung der Ernte und des Rebschnittes in den Oststaaten der USA an *Vitis labruscana* (cv. Concord) (Pollock *et al.* 1977, Pool 1995) und in Australien an *Vitis vinifera* durchgeführt (May 1972, Freeman 1977, Hollick 1977, Freeman 1982, Hollick 1982, Dry 1983). Diese Techniken wurden in der dortigen weinbaulichen Praxis umgehend etabliert. Mit mechanischem und sich anschließendem manuellen Nachschnitt sollte ein rein manueller Rebschnitt im Ergebnis nachgebildet werden (Sommer 1995). May und Clingeleffer (1977) wiesen in ihren Untersuchungen jedoch nach, dass ein manueller Nachschnitt mechanisch geschnittener Reben nicht zwingend erforderlich ist um Ertrag und Qualität auf einem hohen Niveau zu halten, wenn die klimatischen Bedingungen günstig sind (Clingeleffer 1984). Aus dieser Erkenntnis wurde das Konzept des ‚minimal pruning‘ (MP) von Reben entwickelt (Clingeleffer und May 1980), bei dem die Reben nicht bzw. lediglich der untere Teil der Laubwand im Sommer oder Winter leicht geschnitten wurde um die Form des Systems zu erhalten und eine mechanische Ernte über mehrere

Vegetationsperioden zu ermöglichen. Daneben diene diese Maßnahme der Regulierung eines meist höheren Ertrages solcher Systeme, weniger jedoch der Notwendigkeit eines Schnittes.

Anfangs wurde das Konzept eines Nicht-, Minimal- bzw. Maschinenschnittes der Reben im Winter überwiegend in trocken-heißen und bewässerten Weinbaugebieten Australiens (Riverland, Sunraysia, Murray Valley) bei der Tafeltraubensorte Sultana (Syn. Thompson Seedless) angewandt (Clingeleffer 1983, Clingeleffer 1984). Seit etwa 20 bis 25 Jahren findet diese Technik in Australien allerdings auch Anwendung zur Produktion von qualitativ hochwertigen Trauben zur Weinerzeugung (Clingeleffer und Possingham 1987, Kidd 1987, Clingeleffer 1988, Clingeleffer 1989, Possingham und Clingeleffer 1994).

In den kühleren und wüchsigeren Regionen Südaustraliens führte das Konzept des Minimalschnittes wie erwartet zu höheren Erträgen. Diese reiften jedoch durch dortige kürzere Vegetationsperioden bis zur Ernte nicht immer bis zum gewünschten Gehalt an Zucker und anderen Qualitätsparametern aus (Clingeleffer 1992, Sommer 1995). Um durch niedrigere Erträge die Reife zu beschleunigen wurde das ‚summer skirting‘ (Grün- oder Sommerschnitt) entwickelt, bei dem auf einen knappen Winterschnitt ein relativ starker Schnitt der unteren Laubwand während der Vegetation folgt, um den Behang der Reben mit Trauben zu reduzieren (Clingeleffer und Possingham 1987, Kidd 1987). Zudem limitiert das ‚summer skirting‘ die sehr großen Blattflächen in diesen Regionen, so dass die Pflanzen während trockener Sommermonate weniger transpirieren und dadurch keinem übermäßigem Trockenstress ausgesetzt sind.

Durch die Einführung von MP bei stark wüchsigen Rebanlagen in kühleren Klimaten war es außerdem möglich, den teils zu starken vegetativen Wuchs der wenigen Triebe manuell bzw. mechanisch geschnittener Reben auf viele deutlich weniger wuchsstarke Triebe minimal geschnittener Reben zu verteilen und auf diese Weise Laubwandverdichtungen, schlechte Belüftung und Selbstbeschattung der Trauben und individueller Blattlagen sowie andere negative physiologische Auswirkungen zu vermeiden (Clingeleffer 1992, Clingeleffer 1993, Possingham und Clingeleffer 1994, Schultz 2002). Das ‚summer skirting‘ zur Ertragsregulierung wurde im australischen Weinbau in den vergangenen Jahren zunehmend durch eine Ertragsregulierung mittels Erntemaschinen substituiert (Clingeleffer *et al.* 2005).

Zahlreiche praxisnahe und grundlegende Untersuchungen physiologischer Natur zur besseren Adaptierung dieses Konzeptes an die Bedingungen Australiens begleiteten die gesamte Entwicklung von MP (Cirami *et al.* 1985, McCarthy und Cirami 1990, Clingeffer und Krake 1992, Downton und Grant 1992, Sommer *et al.* 1993).

Das MP-Konzept fand seit Ende der 1980er Jahre ebenfalls in den nördlichen USA und in Kanada an Sorten von *Vitis labruscana* und deren Kreuzungen (Hybriden) mit anderen Gattungen (z.B. *Vitis vinifera*) weite Verbreitung. Auch dort war es Gegenstand grundlegender Untersuchungen und Bemühungen dieses System an dortige Begebenheiten anzupassen (Reynolds 1988, Pool 1995, Fendinger *et al.* 1996, Fisher *et al.* 1996, Lakso *et al.* 1996, Zabadal *et al.* 1996, Lakso 1999, Reynolds und Wardle 2001). Da in diesen relativ kühlen Regionen mit kurzen Vegetationszeiten die potentiell höheren Erträge von solchen Anbausystemen im Vergleich zu traditionell geschnittenen Reben oftmals nicht genügend ausreifen können, wird ähnlich wie in kühleren Weinregionen Australiens eine mechanische Ertragsregulierung zumeist mittels Erntemaschinen zur Gewährleistung adäquater Traubenqualitäten durchgeführt (Pool 1995, Fendinger *et al.* 1996, Fisher *et al.* 1996). Neben geringeren Produktionskosten minimal bzw. nicht-geschnittener Reben führen Pool *et al.* (1994) und Pool (1995) für diese Regionen den Vorteil an, dass auf diese Weise der Ertrag nicht schon durch einen winterlichen Rebschnitt weitgehend determiniert wird. Der gewünschte Ertrag, der unter dem potentiellen Ertrag minimal geschnittener Reben liegt, wird demnach deutlich später während der laufenden Saison nach dem Fruchtansatz und gegebenenfalls einer expliziten Ertragsabschätzung auf ein adäquates Niveau mechanisch reduziert. Dies gewährleistet, dass durch den Traubenerzeuger nicht beeinflussbare umweltbedingte Faktoren wie extreme Winter- und Frühjahrsfröste, Hagel, ungünstiges Blütewetter sowie Krankheiten und Schädlinge die Höhe des Ertrages lediglich begrenzt negativ beeinflussen können. Auch das Eindringen von Krankheitserregern über Schnittwunden wird somit unterbunden (Striegler und Berg 1994).

Anders als in Australien hat sich in den USA das MP-Konzept in heißen Klimaten wie beispielsweise Californien bisher kaum in der Praxis verbreitet. Pool (1995) führt dies größtenteils auf das Vorhandensein ausreichender und günstiger Arbeitskraft aus dem nahe gelegenen Mexiko zurück. Allerdings besteht auch dort ein gewisses Interesse von Seiten der Beratung und Forschungseinrichtungen unter der Prämisse von ausreichenden Traubenqualitäten solche extensiven Systeme aus ökonomischen Gründen in der Praxis zu forcieren. Striegler *et al.* (2002) verweisen hierzu unter anderem auf die Möglichkeiten der qualitativ hochwertigen Traubensaftproduktion der

Rebsorte ‚Sunbelt‘ bei mechanischem bzw. minimalem Schnitt mit ähnlich überzeugenden Ergebnissen wie für die Sorte ‚Concord‘ in den nordöstlichen USA und in Kanada.

Erste Versuche und Überlegungen theoretischer Natur minimal geschnittener Reben in Europa wurden unabhängig von der Entwicklung in Australien und Nordamerika vor etwa 30 Jahren in Ungarn unternommen (Babó 1981). Das von Babó entwickelte System unterscheidet sich grundsätzlich von den Entwicklungen in Australien und Nordamerika und hat, vor allem wegen nur wenigen Ergebnissen hinsichtlich der erzielbaren Qualitäten bis heute keine relevante Anwendung gefunden.

Auch Systeme nach dem Vorbild aus Übersee konnten sich in Europa außerhalb von Versuchen verschiedener Forschungsinstitutionen in der Praxis nur mit einigen Ausnahmen durchsetzen. Begründet liegt dies u. a. an kritischen Haltungen gegenüber neuen Konzepten und Technologien einer in weiten Teilen eher traditionell ausgerichteten europäischen Weinwirtschaft im Gegensatz zur ‚Neuen Welt‘. Skepsis aus klimatischen, anbautechnischen und rechtlichen Gründen sind jedoch ohne vorhergehende umfassende Prüfung und Anpassung durchaus berechtigt.

Ergebnisse verschiedener Versuchsansteller in traditionell unbewässerten Regionen Europas führten zu widersprüchlichen Bewertungen hinsichtlich Leistung und Qualität minimal geschnittener Reben (Carbonneau 1991, Ollat *et al.* 1993, Intrieri *et al.* 2001, Schultz 2002), wobei vor allem die ungenügende Zeitdauer der Untersuchungen und die verschiedenen Sortenreaktionen vorhandener Versuche problematisch für die Ergebnisinterpretation waren.

Aus klimatischer Sicht wurde befürchtet, dass anhand des meist kühleren Klimas vieler europäischer Weinbaugebiete im Vergleich zu den trocken-heißen Gebieten Australiens solche Minimalschnittsysteme schlicht nicht funktionieren könnten. Befürchtet wurden höhere Mengenerträge an Trauben, die nicht genügend ausreifen bzw. deutlich krankheitsempfindlicher wären oder andere schwerwiegende qualitative Mängel aufweisen könnten.

Ein anderer Grund waren die in der Vergangenheit fehlende Legitimierung für die Durchführung einer Zusatzbewässerung. Diese vermag den höheren Wasserverbrauch minimal geschnittener Systeme (Schultz *et al.* 1999a, Schmid und Schultz 2000) zu kompensieren. Stresssituationen der Pflanzen mit negativen Auswirkungen auf die Trauben- und Weinqualität können so vermieden werden.

Zusätzlich wurde die Wüchsigkeit der Böden traditioneller Weinbauregionen Europas vielfach als ungenügend angesehen, um eine insgesamt höhere Bildung vegetativer und generativer Trockenmasse der Reben nachhaltig zu tolerieren.

Insgesamt wurde in den meisten Studien in europäischen Weinbauregionen allerdings bisher nur unzureichend versucht ein derart neuartiges Weinbausystem an Bedingungen Europas über die Anpassung weinbaulicher Maßnahmen (z. B. Bewässerung, Ertragsregulierung) und önologischer Maßnahmen (z. B. angepasste Traubenverarbeitung, Weinbereitung) zu adaptieren.

Forschungsarbeiten in Italien (Iacono *et al.* 1998) und Spanien (Martínez de Toda und Sancha 1998) bestätigten zwar das enorme ökonomische und teils qualitative Potential sowie andere maßgebliche Vorteile des minimalen Schnittes, wiesen wie Intrieri *et al.* (2001) zugleich auf bisher ungeklärte anbautechnische Probleme und offene Fragen physiologischer oder rebsortentypischer Art hin.

Hohe Erträge, die die Kapazität der Pflanze die Trauben entsprechend auszureifen übersteigen können und ein höherer Wasserverbrauch, der nur teils über größere Standräume der Reben ausgeglichen werden konnte, stellten hierbei die schwerwiegendsten Probleme dar ein derartig extensives System in der weinbaulichen Praxis zu etablieren.

In Deutschland wird das MP-Konzept seit 1993 an der wichtigsten weißen deutschen Rebsorte ‚Weißer Riesling‘ ausgiebig untersucht (Schultz 2002). Seit dieser Zeit wurden weitere Rebsorten in mehreren deutschen Weinbaugebieten und in Österreich auf ihre Praxistauglichkeit für den minimalen Schnitt getestet (Schultz *et al.* 1999b, Hill *et al.* 2000, Schultz 2001, Wohlfahrt 2001, Bauer 2002, Schwab und Nüßlein 2002, Fox und Steinbrenner 2003, Molitor *et al.* 2003, Wohlfahrt 2005). Mittlerweile gilt als bestätigt, dass das Konzept des Minimalschnittes bei einigen weißen Rebsorten durchaus anwendbar ist, um Trauben von ausreichender Güte für Qualitätswein mit geringstem Arbeits- und Kostenaufwand zu produzieren. Rote Sorten hingegen scheinen mangels physiologischer Reife, geringerer Anthocyanbildung und fehlender anderer Qualitätsmerkmale generell weniger geeignet (Schultz und Weyand 2005).

Sortenunterschiede sind zudem in Bezug auf eine ‚Selbstregulierung‘ zwischen vegetativem und generativem Wuchs sowie Ertragsbildung zu beobachten. Bei mangelnder ‚Selbstregulierung‘ ist eine starke Ertragsreduzierung jedoch unumgänglich, um die Qualität und den Zuckergehalt der Trauben zu steigern und den gesetzlich vorgegebenen Mengenertrag nicht zu übertreten.

Eine mechanische Teilentfruchtung führte unter hiesigen Bedingungen sowohl bei dem Einsatz von Erntemaschinen (Rühling 1999, Bauer 2002, Schultz 2002) als auch in Form eines ‚summer skirting‘ (Neckerauer 1997, Schultz *et al.* 2000, Schultz 2002) nicht zum gewünschten Erfolg. Zur Etablierung minimal geschnittener Systeme ist für die weinbauliche Praxis demnach eine ökonomisch als auch qualitativ zweckmäßige Ertragsregulierung unter hiesigen Voraussetzungen Grundbedingung. Aus diesem Grunde erlangten solche Systeme bisher kaum praxisrelevante Bedeutung.

Einige Betriebe in Deutschland jedoch erzeugen aus Trauben minimal geschnittener Reben derzeit erfolgreich Nischenprodukte wie ‚Federweißer‘ sowie Basisqualitäten an Wein. Von einigen wenigen Betrieben werden Weine minimal geschnittener Reben, die sich sensorisch meist als fruchtiger und feingliedriger als Weine normal geschnittener Reben präsentieren, als Verschnittpartner letzterer verwendet. Aus Gründen der Wettbewerbsfähigkeit in einem zunehmend globalisierten Weinmarkt jedoch besteht ein stark zunehmendes Interesse der deutschen Weinwirtschaft an diesem weltweit ökonomischsten Weinbausystem.

1.2 Minimalschnitt – Problematik der Adaptierung an die Verhältnisse Mitteleuropas

Da Anbaubedingungen und ökologische Voraussetzungen Mitteleuropas gänzlich verschieden zu Regionen mit hoher Verbreitung des MP-Konzeptes sind, stellt sich die Frage, inwieweit ein solches System unter hiesigen Bedingungen praktikabel sein kann und ob und wie es angepasst werden sollte um mit Erfolg Anwendung zu finden. Unter der Voraussetzung einer an MP angepassten Anlageform mit genügend weiten Zeilenabständen von nicht unter 2.8 m, einer ausreichend stabilen und dimensionierten Unterstützungsvorrichtung in Form eines Drahtrahmens sowie einer Umstellung von Schnitt zu MP, die sich in Mitteleuropa beispielsweise an Schultz (2001) orientiert, kann der eigentliche Anbau weitgehend mit herkömmlicher Technik und Methoden erfolgen.

Schwierigkeiten und Probleme können sich bei einer Anwendung eines solchen Systems unter europäischen Bedingungen in folgenden Punkten ergeben:

Mechanisierbarkeit: Im Gegensatz zu den meisten Weinregionen der ‚Neuen Welt‘, liegen einige traditionelle Rebflächen Europas tendenziell an bisher kaum zu mechanisierenden Hängen, Steilhängen und Terrassenanlagen. In nördlichen Regionen Mitteleuropas und Deutschlands wird diese Tendenz dadurch verstärkt, dass südlich ausgerichtete und entsprechend geneigte Flächen aufgrund ihrer günstigeren Energiebilanz für den Weinbau im Vergleich zu flachen und vollends zu mechanisierbaren Lagen qualitativ vorzuziehen sind.

Die weitgehende Mechanisierung der Traubenproduktion (einschließlich einer maschinellen Ernte) ist für eine praktikable und wirtschaftliche Einführung des MP-Konzeptes jedoch unumgänglich.

Die technische Entwicklung der letzten Jahrzehnte führte zu einer starken Ausweitung der rein maschinell zu bewirtschaftenden Flächen. Klassische deutsche Weinbaugebiete verzeichnen jedoch weiterhin einen hohen Anteil von Flächen, die aus Gründen der Mechanisierbarkeit für minimalen Schnitt bis dato nicht geeignet sind.

Wüchsigkeit: Durch einen hohen Anteil an Steil- und Steilstlagen weisen viele der klassischen Weinbauregionen Deutschlands weitaus weniger wüchsige Anbaubedingungen auf als die meisten Weinregionen in Übersee. Traditionell werden Reben in Europa häufig dort angebaut, wo andere landwirtschaftliche Kulturen teils aus Gründen der Bodenfruchtbarkeit sowie der Wasserversorgung nicht angebaut werden konnten.

Unter anderem dies führt im Gegensatz zu Weinbauregionen in Übersee zu einer herabgesetzten Wüchsigkeit der Reben, was durch deutlich höhere Erträge und Triebzahlen je Standraum und Pflanze bei MP verstärkt wird. Eine stark herabgesetzte Wüchsigkeit kann zu Problemen der Holz- und Winterknospenreife bis hin zu Absterbeerscheinungen führen. Daraus folgend kann ein starker Rebschnitt während der Dormanz nötig werden, um auf diese Weise die Wüchsigkeit weniger verbleibender Rebtriebe zu erhöhen.

Klima: Das Klima Mitteleuropas unterscheidet sich stark von überwiegend bewässerten, trocken-heißen als auch von nicht bewässerten, kühleren Weinbauregionen Australiens. So weisen selbst als kühl geltende, qualitativ sehr hoch angesehene Regionen Australiens mit bedeutendem Anteil minimal und rein mechanisch geschnittener Reben wie Coonawarra eine um ca. 30 % erhöhte akkumulierte Wärmesumme mit Tagen über 10°C auf als z.B. Geisenheim/Rheingau. Dazu kommt ein mittlerer jährlicher Niederschlag, der >100 mm über dem Geisenheims liegt (Gladstones 1992). Unter den dortigen Bedingungen ist zu erwarten, dass höhere Erträge zudem aufgrund ausreichend langer Vegetationsperioden hinreichend ausreifen können. Ein durch MP eventuell reduziertes Blatt/Fruchtverhältnis (bei nicht ausreichender Selbstregulierung) kann hierdurch in aller Regel ausgeglichen werden. Unter den Anbaubedingungen des Rheingaus ist für die Rebsorte Riesling ein Blatt/Fruchtverhältnis von 17 – 22 cm² g⁻¹ nötig (Hügelschäffer 1988). Trotz der deutlich höheren Blattfläche minimal geschnittener Reben ist dieses Blatt/Fruchtverhältnis durch im Verhältnis höhere Erträge in einigen Fällen stark reduziert, was bei spät reifenden Rebsorten wie Weißer Riesling zu Problemen der Reife führen kann.

Wasserhaushalt: Gesteigerte Erträge und eine Zunahme der Blattfläche minimal geschnittener Reben, die sich zu Beginn einer Vegetationsperiode durch die Vielzahl der belassenen Winteraugen deutlich schneller entwickelt als dies bei geschnittenen Reben der Fall ist, benötigen mehr Wasser über den Zeitraum einer Vegetationsperiode (Schultz *et al.* 1999a, Schmid und Schultz 2000). Dies kann ohne zusätzliche Bewässerung, die zwar seit dem Jahr 2002 im deutschen Weinbau generell gestattet ist, jedoch wegen der hohen Kosten und häufig wegen der Beschaffungsprobleme des Wassers nicht anwendbar ist, zu höherem Trockenstress auch bei größeren Standräumen minimal geschnittener Reben führen. Vor allem während trocken-warmer Sommermonate sowie während der Reife kann dies schwerwiegende physiologische und qualitative Folgen (z. B. geringere photosynthetische Leistung) haben. Negative

Auswirkungen auf die Zuckerakkumulation in den Früchten bei geringerer physiologischer Reife der Trauben und Beeinträchtigungen der Holzreife einjähriger Triebe sind unter solchen Bedingungen zu erwarten. Sensorische Auswirkungen auf die erzeugten Weine und Effekte auf die Nachhaltigkeit der Reben sind ebenfalls nicht auszuschließen.

Nachhaltigkeit: Erhöhte Erträge und starke Einzelstockbelastungen, ein wesentlich stärkerer vegetativer Wuchs je Pflanze sowie eine deutlich höhere Trockenmasseproduktion in Verbindung mit einer späteren Ernte bei kurzen Zeiträumen zwischen Ernte und Seneszenz der Blätter, lassen eine verringerte Bildung und Einlagerung von Reservestoffen in Form von Kohlehydraten und Stickstoff in alle perennierenden oberirdischen und unterirdischen Organe vermuten. Hieraus kann trotz der Annahme einer gewissen ‚Selbstregulierung‘ und Anpassung des vegetativen und generativen Wuchses an die Kapazität der Pflanzen ein negativer Einfluss auf die Nachhaltigkeit solcher extensiver Bewirtschaftungssysteme abgeleitet werden. Daten aus Australien (Rühl und Clingeffer 1993) bestätigen diese Befürchtungen zwar nicht. Sie sind jedoch kaum auf Verhältnisse in Europa zu übertragen, da in diesen Untersuchungen selbst die geschnittenen Reben Blattflächen erreichen, die in Deutschland nur MP Systeme erzielen können. Da die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftungssysteme in Anbetracht der sehr langen Standzeiten von Reben (meist >25 Jahre) von essentieller Bedeutung für deren Praxistauglichkeit ist, liegt in der Nachhaltigkeit in Bezug auf den Reservestoffkreislauf sowie der Reservestoffdynamik ein Forschungsschwerpunkt der vorliegenden Studie.

Wertgebende Beereninhaltsstoffe: Ein derart verändertes Anbausystem wie MP mit höheren Erträgen und einem veränderten Mikroklima der Laubwand und der Traubenzone im Vergleich zu konventionell geschnittenen Systemen hat vielfältige Auswirkungen auf die Trauben- und Beerenmorphologie sowie die Biochemie der Beeren und deren Inhaltsstoffe (Werwitzke 2003). Diese Parameter können den Weintyp und Weinqualität beeinflussen. Ein bei MP wegen durchschnittlich kleinerer Beeren verändertes Verhältnis von Fruchtfleisch zu Beerenhaut, in der sich viele aromarelevante und wertgebende Inhaltsstoffe befinden, kann neben Zucker- und Säuregehalt, Säurezusammensetzung, Mineralstoffgehalt, sowie dem pH-Wert maßgeblich für derartige qualitative Änderungen sein (Werwitzke 2003).

Qualitätsbewertung: Die Bildung von in Beerenhäuten vermehrt lokalisierten phenolischen Substanzen und Aromavorstufen minimal geschnittener und geschnittener

Reben und die Auswirkungen auf daraus erzeugte Weine wurden von Werwitzke (2003) und Papargyriou (2003) untersucht. Häufig wurde die Bevorzugung von Weinen minimal geschnittener Reben vor allem der Sorte Riesling durch Verbraucher und Expertenpanels hinsichtlich ihrer Aromatik beobachtet. Im Gegensatz hierzu stehen herkömmliche Qualitätsparameter (z. B. Mostzuckergehalt), die bei MP häufig geringere Gehalte aufweisen als bei VSP. Dies zeigt unter anderem auch Unzulänglichkeiten der gebräuchlichen qualitativen Bewertung von Trauben. Die qualitative Bewertung eines neuartigen Systems wie MP anhand herkömmlicher Kenngrößen wird somit dem Potential eines solchen Systems unter Umständen nicht vollends gerecht, trägt jedoch zu einer teils ablehnenden Einstellung seitens der Beratung und Praxis gegenüber MP bei.

Vinifizierung: Neben einem relativ höheren Anteil an Beerenhaut ist auch der Anteil an Rappen (Trauben- und Beerenstiele) minimal geschnittener Trauben erhöht. Eine an ihre Zusammensetzung und morphologisch veränderten Trauben und Beeren angepasste Traubenverarbeitung und Weinbereitung vermag eventuelle qualitative Vorteile verstärkt auszunutzen bzw. Nachteile zu minimieren.

Sortenfrage: Rebsorten, die in Übersee für minimale Schnittmethoden geeignet sind, könnten sich unter hiesigen Bedingungen (Boden, Klima) durchaus als ungeeignet erweisen. Sorten, welche in Übersee als ungeeignet eingestuft wurden, könnten in Europa durchaus positiv auf minimalen Schnitt reagieren.

Zum Beispiel sind viele minimal geschnittene Rebanlagen in Australien mit roten Rebsorten bepflanzt (Cabernet franc, Cabernet Sauvignon, Merlot, Shiraz). Versuchsergebnisse mit roten Rebsorten in Deutschland verliefen bisher allerdings eher enttäuschend (Schultz und Weyand 2005). Ein Mangel an physiologischer Reife bei ungenügendem Zuckergehalt, Anthocyanen, Tanninen und anderen Inhaltsstoffen sind für diese negative Bewertung ausschlaggebend. Daneben reagieren einige rote als auch weiße Sorten nicht mit den für MP typischen lockereren und wenig krankheitsanfälligen Trauben. Bei einigen Sorten bleiben Trauben beispielsweise bei minimalem Schnitt überwiegend kompakt (Burgundersorten). Die weiße Sorte Riesling, die Gegenstand der vorliegenden Arbeit und eine der wichtigsten in Deutschland angebauten Rebsorte ist, reagiert aus pflanzenbaulicher Sicht mit sehr lockeren Trauben und kleinen Beeren sehr positiv auf minimalen Schnitt.

Kontingentierung und Ertragsregulierung: Menge und Güte der Früchte stehen bei der Traubenproduktion in enger Beziehung. Als Folge schreibt der Gesetzgeber in

deutschen und anderen europäischen Weinbaugebieten regions- und/oder sortenabhängige Höchsterträge je Flächeneinheit vor. Dies soll eine Mindestqualität der für die Weinproduktion verwendeten Trauben gewährleisten. Minimalschnittreben können diese Mengenkontingentierung beträchtlich überschreiten.

Eine ökonomisch vertretbare Ertragsregulierung, um einerseits die Kontingentierung einzuhalten und andererseits qualitäts- und marktbezogene Probleme zu beseitigen bzw. zu mildern, konnte bisher bei Minimalschnittsystemen im deutschen Weinbau im Gegensatz zu Übersee durch eine mechanische Teilentfruchtung nicht zufrieden stellend gelöst werden (Neckerauer 1997, Rühling 1999, Schultz 2002). In vorliegender Arbeit wird deshalb die Möglichkeit einer hormonellen Ertragsregulierung mittels Gibberellinsäure (GA₃) untersucht.

Pflanzenschutz und Krankheitsanfälligkeit: Seit dem ersten Gedanken zur Etablierung minimal geschnittener Systeme in Deutschland vor nahezu 15 Jahren bestand die Befürchtung einer höheren Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern und Schädlingen bei solchen Erziehungssystemen. Bei Diskussionen mit Praktikern ist diese Befürchtung bis heute stark verbreitet.

Eine generell höhere Empfindlichkeit gegenüber den wichtigsten Pflanzenkrankheiten (*Plasmopara viticola*, *Uncinula necator*, *Phomopsis viticola*, *Guignardia bidwellii*, *Pseudopezicula tracheiphila*) konnte unter mitteleuropäischen Bedingungen nicht beobachtet werden. Bauer (2002) weist auf einen höheren Aufwand an Pflanzenschutzmitteln im österreichischen Weinbau hin, der von anderen Versuchsanstellern allerdings nicht bestätigt wird. Hill *et al.* (2000) berichteten von einem sehr frühzeitig nötigen Pflanzenschutz gegenüber Oidium (*Uncinula necator*). Dies lässt sich jedoch mit einer wesentlich schnelleren Blattflächenentwicklung zu Beginn der Vegetation erklären, führt dennoch nicht zu einem generell höheren Aufwand an Pflanzenschutzmittel im Verlauf einer Vegetation. Ein vielfach nötiger höherer Mengenaufwand je Meter Zeilenlänge um die großvolumigen Laubwände ausreichend mit Wirkstoffen zu penetrieren relativiert sich über weitere Standräume bei MP Reben und führt somit nicht zu einem höheren Aufwand je Flächeneinheit.

Vielfach wird bestätigt, dass die Anfälligkeit gegenüber *Botrytis cinerea* aufgrund der lockereren Trauben und kleineren Beeren geringer ist (Emmet *et al.* 1995, Hill *et al.* 2000, Wohlfahrt 2001, Schultz 2002, Schwab und Nüßlein 2005). Dieser Sachverhalt führt unter anderem bei minimal geschnittenen Trauben häufig zu der Möglichkeit einer späteren Ernte. Hierdurch kann eine verzögerte Reife teilweise ausgeglichen werden.

Bedeutende tierische Schaderreger treten bei MP kaum vermehrt auf. Gelegentlich kommt es zu einem höheren Befall mit *Colomerus vitis* (Blattgallmilbe), der jedoch aus qualitativer und wirtschaftlicher Sicht vernachlässigbar und mit kostengünstigen Pflanzenschutzmitteln (Netzschwefeleinsatz) zu kontrollieren ist.

Aus den vorgenannten Punkten wird ersichtlich, dass ein besseres Verständnis der Physiologie minimal geschnittener Reben sowie die Lösung und Beantwortung praxisrelevanter und grundlegender Fragen hinsichtlich des MP-Konzepts zu dessen Adaptierung an die Anbaubedingungen Mitteleuropas und Etablierung in der deutschen Weinwirtschaft einen essentiellen Beitrag leisten kann. Einige der ursprünglich zur Diskussion gestandenen Fragen und Probleme meist praxisnaher Natur, wie beispielsweise die des Pflanzenschutzes oder der Sortentauglichkeit, sind mittlerweile weitgehend beantwortet bzw. gelöst.

Weitere für die weinbauliche Praxis relevante Fragen, wie die einer praktikablen Ertragsreduzierung solcher Systeme bzw. Fragen eher grundlegender Art, wie die Bewertung der Nachhaltigkeit dieser Systeme oder die Erstellung einer Kohlenstoffbilanz minimal geschnittener Reben gegenüber herkömmlichen Systemen unter mitteleuropäischen Klimabedingungen sind nicht zuletzt wegen des hohen Forschungsaufwandes und des längerfristigen Charakters solcher Untersuchungen bisher noch nicht beantwortet worden. Diese Fragen stehen im Zentrum vorliegender Arbeit.

1.3 Begriffsdefinition: Minimalschnitt in vorliegender Arbeit

Der Begriff ‚Nichtschnitt‘ impliziert, dass Reben eines derartigen Systems nicht geschnitten werden: weder während der Dormanzphase durch einen Winterschnitt, noch während der Vegetation durch einen Grün- bzw. Sommerschnitt.

Was aber bedeutet der in dieser Studie verwendete Begriff Minimalschnitt (MP) und worin besteht der Unterschied zu Nichtschnitt bzw. zu einem gängigen geschnittenen System (VSP)?

Die in dieser Studie verwendeten Minimalschnittreben wurden alle zwei bis drei Jahre im Winter mit einem Laubschneider (Fingerbalkenmäher) im unteren Teil des Systems ‚minimal‘ geschnitten, um die Laubwand auf einer gewissen Höhe und vom Boden fern zu halten. Bei einer solchen Maßnahme wurden jeweils maximal 5 % des vorjährigen Zuwachses an einjährigem Holz entfernt, so dass ein Einfluss auf die Wüchsigkeit der hohen Zahl verbleibender Winterknospen, die durch einen Winterschnitt gefördert werden kann, vernachlässigbar war.

Auf einen Grünschnitt wurde in allen Jahren verzichtet. Damit sind die in dieser Arbeit verwendeten Minimalschnittreben einem vollkommenen Nichtschnitt sehr ähnlich. Sie unterscheiden sich jedoch von vielen Minimalschnittreben anderer kühler Anbauggebiete eben dadurch, dass diese zwar häufig ähnlich wie die Reben in vorliegender Arbeit einem minimalen Winterschnitt unterzogen werden, zusätzlich jedoch auch ein Sommerschnitt durchgeführt wird („summer skirting“). Das „summer skirting“ kann zur Anpassung der Wuchsform, des vegetativen Wuchses an die Standort- und Klimabedingungen sowie zur Ertragsregulierung bzw. Qualitätssteigerung eingesetzt werden. Es führte im Rahmen vorliegender Arbeit in einer weiteren Versuchsanlage, die ebenfalls mit der Rebsorte Riesling bepflanzt ist, nicht zum gewünschten Ziel einer Ertragsregulierung bei gesteigerter Traubenqualität. Diese Art der Ertragsregulierung bei MP wurde nach letzten Versuchen im Jahre 2002 verworfen.

1.4 Minimalschnitt – Morphologie, Physiologie, Qualität

Minimalschnitt (MP) bewirkt tiefgreifende Änderungen morphologischer, physiologischer und qualitativer Natur gegenüber traditionell geschnittenen Reben (VSP). Bei diesen Unterschieden zwischen MP und VSP ist es von untergeordneter Bedeutung, um welche explizite Schnittform es sich im Einzelnen bei VSP handelt.

Die Erscheinungsform einer über mehrere Jahre nicht- oder minimal-geschnittenen Rebe bzw. deren Rebzeilen ist grundsätzlich verschieden von der Erscheinungsform geschnittener Reben. Aufgrund eines deutlich höheren Holzanteils an mehrjährigem und einjährigem Holz nehmen MP-Reben einen größeren Raum ein: sie sind höher und breiter (Abb. 1). Dies bedingt aus Gründen der Bewirtschaftung und der Qualität (Selbstbeschattung) Zeilenbreiten von mindestens 2.8 m. Im Gegensatz dazu nimmt ein voll mechanisiertes und geschnittenes Standardsystem in Mitteleuropa Zeilenbreiten von üblicherweise 1.8 bis 2.2 m ein.

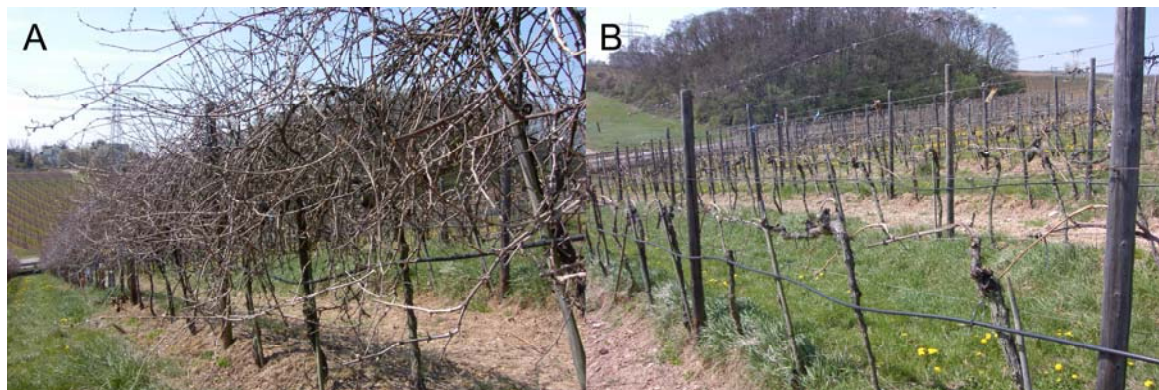


Abb. 1: Mehrjährige MP- (A) und VSP-Systeme (B) auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau während der Dormanzphase im Winter 2002/2003.

Aus der Vielzahl der belassenen Winteraugen und der sich daraus neu entwickelnden Vegetationspunkte bildet sich bei MP unmittelbar zu Beginn der Vegetation eine signifikant höhere Blattfläche (Abb. 2, Abb. 3), die während der Vegetation bis zum 3- bis 4-fachen der geschnittenen Reben je Einheit Standraum betragen kann. Eine höhere Blattfläche bleibt, sofern keine extremen Trockenstressperioden und dadurch induzierter vorzeitiger Blattfall auftreten, über die Ernte bis zum Vegetationsschluss bestehen. Im Tagesverlauf weisen MP-Reben unter Einhaltung gängiger Empfehlungen zur Erstellung dieses Systems eine deutlich höhere belichtete Blattfläche über die gesamte Vegetationsperiode auf. Dies sind Hauptgründe einer gesteigerten potentiellen Kapazität zur Trockenmasseproduktion minimal geschnittener Reben.



Abb. 2: Mehrjährige MP- (A) und VSP-Systeme (B) auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau zu Beginn der Vegetation am 8. May 2003.



Abb. 3: Mehrjährige MP- und VSP-Systeme der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau zu Beginn der Vegetation am 20. May 2003. Deutlich zu erkennen ist die unterschiedlich ausgebildete Blattfläche der geblockten Systeme zu diesem frühen Vegetationszeitpunkt.

Über Rebblätter erfolgt der weitaus größte Anteil der Pflanzentranspiration. Diese ist für minimal geschnittene Reben entsprechend ihrer größeren Blattfläche je Pflanze erhöht. Die gesteigerten Transpirationsraten minimal geschnittener Reben können innerhalb eines Tagesverlaufs bzw. während einer Vegetationsperiode, je nach Bodenverhältnissen, Weinbaulichem Management, Umwelt- und Witterungsbedingungen zu niedrigeren Blattwasserpotentialen führen. Stresssituationen und dadurch bedingte physiologische Reaktionen wie verringerter Gaswechsel, erhöhte Temperaturen der grünen Organe oder, falls längerfristig auftretend, eine vorzeitige Blattseneszenz, können die Folge sein.

Die vegetative Entwicklung bei MP-Systemen ist unter hiesigen Voraussetzungen zum Zeitpunkt der Blüte weitgehend abgeschlossen (Abb. 4). Bei VSP nimmt der vegetative Wuchs zu diesem Zeitpunkt zwar ab, liegt jedoch nach der Blüte deutlich über dem von MP.



Abb. 4: Mehrjährige MP-Systeme auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau nach Abschluss des vegetativen Wuchses zum Zeitpunkt der Blüte im Juni 2003.

Wegen der Fülle der Vegetationspunkte und Triebe bei MP-Systemen und der daraus gegebenen hohen Konkurrenz um Reserve- und Nährstoffe (z. B. Kohlehydrate und Stickstoff) sowie Wasser, ist die Wüchsigkeit individueller Triebe stark reduziert. Diese bleiben verhältnismäßig klein und weisen deutlich kürzere Nodienabstände als Triebe geschnittener Reben auf. Der reduzierte Umfang ihrer Triebe kann die Anatomie der Leitbündel beeinträchtigen und zu einem geringeren Durchmesser im Xylem führen. Dies kann Auswirkungen auf die hydraulische Leitfähigkeit nach sich ziehen (Gruber und Schultz 2005).

Die hydraulische Leitfähigkeit auf Basis der gesamten Pflanze wird bei MP zusätzlich durch einen durchschnittlich weiteren Streckentransport des Saftstromes von den Wurzeln über den Stamm und das verzweigte Triebssystem bis zu den transpirierenden Organen verändert.

Häufig gelangt ein Großteil der jüngeren apikalen Triebteile mitsamt den dort inserierten Winterknospen bei MP bis zum Blattfall nicht vollständig zur Ausreife. Gegebenenfalls weisen diese eine verringerte Winterfrosthfestigkeit auf. Dies hat zur Folge, dass nicht vollständig ausgereifte Triebe bzw. Triebteile während der Dormanzphase bis zum nächstjährigen Austrieb abgestoßen werden können („Selbstschnitt“).

Der Austriebsquotient der verbleibenden Knospen bei MP liegt wegen der tendenziell verringerten Knospenreife und einer höheren Nährstoff- und Wasserkonkurrenz bisweilen deutlich unter dem Austriebsquotienten geschnittener Reben. Durch einen fachlichen Rebschnitt bei geschnittenen Systemen hingegen wird ausschließlich gut

ausgereiftes einjähriges Holz belassen. Reserven aus Stamm und Wurzelsystem sowie Wasser verteilen sich auf deutlich weniger sich entwickelnde Triebe.

„Selbstschnitt“ und herabgesetzter Austriebsquotient reduzieren die Anzahl potentiell austreibender Winterknospen bei MP und sind somit ein wichtiger Teil der „Selbstregulierung“. Die Pflanze reguliert ihren Wuchs und behält über den Winter nicht mehr einjähriges Holz und Knospen, als diese in der Vorsaison zur vollen Ausreifung bringen konnte.

Um ein geschnittenes Spaliersystem in Form zu halten und es dem Drahtrahmen anzupassen, werden stark wüchsige Triebe, die vertikal sowie horizontal aus dem Spaliersystem wachsen, zwischen Abschluss der Blüte bis Veraison je nach Bedarf meist maschinell gekürzt, was den Wuchs lateraler Triebe der geschnittenen Systeme fördert. Bei MP dagegen kommt es durch die herabgesetzte Wuchskraft individueller Triebe und den fehlenden Rückschnitt der jüngeren Triebteile im Verlauf der Vegetation kaum zur Ausbildung lateraler Triebe.

Das einjährige Holz des Vorjahres befindet sich bei MP-Systemen überwiegend an dessen Peripherie. Dies bedingt, dass sich die neu bildende vegetative Masse des laufenden Jahres mehrheitlich an der Peripherie ausbildet. Als Folge verdichtet sich das MP-System kaum. Es verbleibt im Innern, wo sich überwiegend Altholz der vorangegangenen Jahre befindet, relativ gut durchlüftet (Abb. 5).



Abb. 5: Das Innere mehrjährig minimal geschnittener Reben auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau am 26. May 2003. Es enthält einen hohen Altholzanteil bei geringem bis keinem Anteil an einjährigem Holz, aus dem sich Vegetationspunkte bilden könnten.

Eine von Anbeginn der Vegetation deutlich höhere Blattfläche der MP-Systeme korreliert eng mit einer vermehrten Blattzahl je Pflanze, wobei individuelle Blätter durchschnittlich deutlich kleiner sind als die geschnittener Reben. Durch kürzere Triebe

und kleinere Blätter in geringerer Anzahl ist die Blattfläche individueller Triebe gegenüber Trieben geschnittener Reben reduziert, obwohl deren Triebe eingekürzt werden. Die Mehrzahl der Blätter ist an der Peripherie der MS-Systeme inseriert.

Im Spalier gezogene Reben weisen generell einige wenige Blattlagen auf. Diese werden während der Vegetation mit ihren Triebachsen zwischen den Heftdrähten des Spaliersystems gehalten. Eine Selbstbeschattung der innen liegenden Blattlagen und ein negativ beeinflusstes Mikroklima können hieraus resultieren. Bei MP-Systemen hingegen kann im eigentlichen Sinne nicht mehr von Blattlagen gesprochen werden. Hier befinden sich die Blätter in der äußersten Schicht des Systems, das einen weitaus größeren Umfang aufweist. Blätter sind relativ gleichmäßig und locker verteilt und nehmen nach Innen hin in ihrer Anzahl stark ab.

Durch den lockeren und gleichzeitig flexiblen Aufbau gelangen Sonnenflecken im Tagesverlauf auch auf innen positionierte Blätter, so dass diese zu einer Netto-Stoffproduktion beitragen können. Ist die Laubwand dennoch zu dicht, kommt es bei MP häufig zu einer frühzeitigen Vergilbung dieser Blätter und folgend zu deren Abszission.

Die Lichtinterzeption von MP gegenüber VSP ist aufgrund des großvolumigen Aufbaus mit höheren und breiteren Laubwänden erhöht (Abb. 6). Durch den enormen Vorsprung der Blattflächenentwicklung von MP zu Beginn der Vegetation ist in diesem Zeitraum der Unterschied der Lichtinterzeption zwischen beiden Systemen am höchsten. Dies trägt zu der Fähigkeit von MP über die gesamte Vegetationsperiode mehr Kohlenstoff aus der Atmosphäre zu binden bei.



Abb. 6: Lichtinterzeption der mehrjährigen MP- (A) und VSP-Systeme (B) am späten Vormittag des 18. Juni 2002. Deutlich zu erkennen ist das unterschiedlich breite Schattenband rechts am Boden zwischen zwei Rebzeilen eines jeden Systems als Folge der unterschiedlichen Lichtinterzeption.

Ebenso wie Blätter sind auch Gescheine und Trauben überwiegend im äußeren Teil der Laubwände von MP positioniert und günstig belichtet (Abb. 7). Dies beeinflusst die biochemischen Abläufe und die stoffliche Matrix der Beeren, die Zusammensetzung der

gepressten Moste und damit die aus ihnen erzeugten Weine. Unter anderem können hierdurch Gehalte an aromarelevanten Verbindungen, phenolischen Substanzen, bei roten Rebsorten auch Anthocyane und Tannine positiv beeinflusst werden.



Abb. 7: Typischer Laubwandabschnitt eines mehrjährigen MP-Systems mit an der Peripherie inserierten Trauben auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau vor Reifebeginn des Jahres 2003.

Individuelle Triebe von MP weisen im Durchschnitt eine geringere Fruchtbarkeit mit weniger und oftmals kleineren Infloreszenzen auf. Insgesamt jedoch ist die Anzahl dieser ähnlich wie die der Blätter bei MP deutlich gesteigert.

Eine höhere Anzahl an Infloreszenzen mit insgesamt mehr Blütenanlagen bei MP kann während und nach der Blüte aufgrund einer verstärkten Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser zu einem gesteigerten Grad an unbefruchteten Blüten mit teilweiser Parthenokarpie sowie zu einem höheren Prozentsatz abgeworfener junger Beeren (Verrieseln, franz.: ‚coulure‘) führen. Eine geringere Anzahl an Beeren je Längeneinheit des Stielgerüsts ist die Folge. Die Anzahl verbleibender Beeren je Pflanze ist bei MP trotz dieses Verrieselns generell weit höher als bei VSP, wodurch sich teils der gesteigerte Mengenertrag erklären lässt. Wegen eines verminderten Angebotes an Wasser und Nährstoffen je Beere kommt es vielfach zu einem geringeren Gewicht individueller Beeren. Beides, ein höherer Verrieselungsgrad als auch eine verringerte Beerengröße, führen zu lockeren Trauben (Abb. 8).

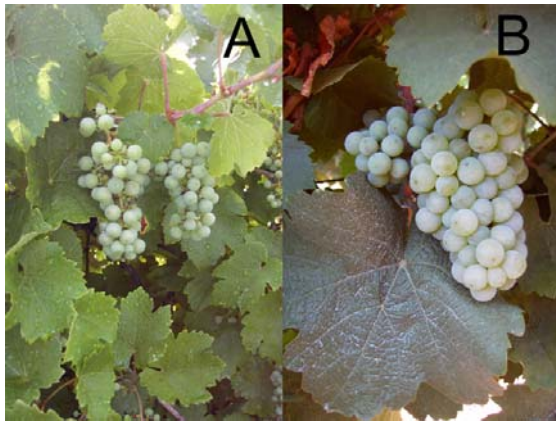


Abb. 8: Typische lockere Trauben der Sorte Riesling eines mehrjährigen MP-Systems (A) sowie eine kompakte Traube mit sich gegenseitig ‚abdrückenden‘ Beeren des VSP-Systems (B) auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg/ Rheingau im Juli des Jahres 2003.

Bei der Ausbildung von lockereren Trauben und kleineren Beeren existieren Sorten- und Klonunterschiede. Bei der Sorte Riesling ist dieses Phänomen beispielsweise deutlich stärker ausgeprägt als dies bei einzelnen Sorten der Burgundergruppe (Weiß-, Grau- und Spätburgunder) der Fall ist.

Lockere Trauben ändern deren Mikroklima. Sie werden besser durchlüftet, trocknen bei Tau und nach Regenereignissen schneller ab und können dadurch einen geringeren Krankheitsbefall verschiedener Schaderreger aufweisen. Eine bessere Belichtung und geänderte Wärmedynamik solcher Trauben hat wie die periphere Exposition Auswirkungen auf die stoffliche Matrix der Beeren (Säure und Säurespektrum, Anthocyanine, Phenole, Stickstoff und Aminosäuren, Mineralstoffe, Carotenoide u. a.). Hierdurch kann abhängig von Traubenverarbeitung und Vinifizierung die Weinqualität positiv verändert werden.

Auf einige der genannten Parameter wird zudem von einem durch das durchschnittlich geringere Beerenvolumen bei MP veränderte Verhältnis von Fruchtfleisch zu Beerenhaut eingewirkt. Höhere prozentuale Anteile an Beerenhaut bei MP können zu gesteigerten Gehalten beispielsweise von Mineralstoffen, Phenolen, Carotenoiden, Aromen und Anthocyanen führen, da diese zu einem großen Anteil in der Beerenhaut lokalisiert sind.

Ver mehrt in den ersten Jahren der Umstellung auf minimalen Schnitt können Alternanzphänomene auftreten. Diese Phänomene waren und sind teils bis heute in den Versuchsanlagen zu vorliegender Arbeit zu beobachten, die zu einem großen Teil seit dem Winter 1992/93 bzw. 1995/96 minimal geschnitten sind.

Im ersten Jahr der Umstellung von winterlichem Rebschnitt auf minimalen Schnitt verbleiben alle in der Vorsaison gebildeten und ausgereiften Winterknospen. Da die Fruchtbarkeit dieser in der Regel hoch ist, sofern die Anlage im Vorjahr nicht übermäßig durch Umwelteinflüsse (widrige Wuchsbedingungen in der vegetativen Hauptwachstumsphase und nach der Blüte) und Ertragshöhe belastet war, bildet sich im ersten Jahr ohne Schnitt ein häufig sehr hoher Mengenertrag aus. Eine Depression des vegetativen Wuchses ist die Folge.

Folglich bilden sich weniger Winterknospen für die kommende Vegetationsperiode. Zusätzlich sinkt die Fruchtbarkeit einzelner Winterknospen in Form von weniger und/oder kleineren Gescheinsansätzen. Der Mengenertrag der kommenden Saison erreicht ein geringeres Niveau („Selbstregulierung“).

Dieses Phänomen bleibt mit stark abnehmender Tendenz über die Jahre bestehen, wodurch die Anlage ein für sie ‚spezifisches‘ Ertragsniveau und eine Balance zwischen generativem und vegetativem Wuchs erreicht.

Mit dieser Balance gewährleistet die Rebe, dass ein ausreichender Anteil der gesamten Kapazität zur Trockenmassebildung in die Aufrechterhaltung der Nachhaltigkeit (Reserve- und Nährstoffe) investiert wird. Hingegen findet der Anteil der Kapazität, der zur Gewährleistung der Nachhaltigkeit nicht benötigt wird, im generativen Wuchs Verwendung.

Ein minimaler Winterschnitt der Reben, der die Wuchsform erhalten soll und einzelne Triebe daran hindert den Boden zu erreichen, stört diese Balance wenig. Ein starker Winter- oder Sommerschnitt würden dieses Gleichgewicht zwischen vegetativem und generativem Wuchs jedoch empfindlich stören.

1.5 Zielsetzung

Das Ziel vorliegender Untersuchungen war das arbeitswirtschaftlich äußerst extensive Konzept des ‚minimalen Rebschnittes‘ (MP) im Vergleich zu geschnittenen und im Spaliersystem bewirtschafteten Reben (VSP) der Sorte Riesling unter Feldbedingungen kühler Anbaubedingungen Mitteleuropas zu erproben und gegebenenfalls weiter zu entwickeln.

Grundlegende Unterschiede hinsichtlich der Ertragsausprägung und Ertragsphysiologie, der Laubwandstruktur, des Wasser- und Reservestoffhaushaltes sowie assimilatorischer Kenngrößen beider Systeme wurden im Rahmen dieser Arbeit umfassend und über mehrere Vegetationsperioden verfolgt.

Einige der für die Etablierung in der Weinbaulichen Praxis relevanten Probleme von MP wurden aufgegriffen und neue Ansätze zur Problemlösung experimentell erprobt und bewertet.

Folgende Manuskripte sind bisher auf Grundlage vorliegender Studie als Publikationen veröffentlicht bzw. akzeptiert worden:

Manuskript I: Long-term dynamics of nitrogen and carbohydrate reserves in woody parts of minimally pruned and severely pruned Riesling vines in a cool climate.

Dieses Manuskript untersucht den Reservestoffkreislauf verschiedener Fraktionen des Holzkörpers von MP und VSP über den Zeitraum mehrerer Jahre. Anhand der Analyse von Holzproben zu ausgewählten phänologischen Entwicklungsstadien wurden die Dynamik von Reservestoffen (Kohlehydrate und Stickstoff) sowie Differenzen zwischen MP und VSP in Bezug auf diese innerhalb einer Vegetation aufgezeigt. Wegen eines meist deutlich höheren Mengenertrages, des verminderten Blatt/Frucht-Verhältnisses, eines infolge der höheren Blattfläche gesteigerten Wasserverbrauchs und zunehmenden Wassermangels in traditionell unbewässerten Regionen, wurde für MP eine herabgesetzte Bildung sowie verstärkte Beanspruchung dieser essentiellen Reserven unterstellt. Im Gegensatz zu den meisten Weinregionen der ‚Neuen Welt‘, wo die Bildung eines Großteils der Reservestoffe in einer ausreichenden Zeitspanne zwischen Ernte und Blattfall erfolgen kann, wurde diese Spanne als zu kurz für die hinreichende Einlagerung an Stickstoff- und Kohlehydratreserven bei MP in Mitteleuropa angenommen.

Dieser Sachverhalt könnte sich langfristig negativ auf deren Nachhaltigkeit auswirken und herkömmliche Standzeiten von weit mehr als 2 Jahrzehnten unerreichbar machen.

Anbaubedingungen, Erziehungssystem und über Reservestoffe auch die Nachhaltigkeit weinbaulicher Systeme sind demnach miteinander gekoppelt.

Die erstmalige langfristige Beobachtung und kritische Diskussion der Reserven an Stickstoff und Kohlehydraten im Holzkörper von MP und VSP ermöglichte es im Rahmen dieser Untersuchung die Reservestoffdynamik und Reservestoffbildung beider Systeme im Vergleich zu bewerten. Erst hierdurch gelang es eine fundierte Aussage über die **langjährige Reservestoffdynamik** sowie die **Nachhaltigkeit** von MP ohne Zusatzbewässerung in einem kühlen Klima zu treffen.

Manuskript II: Light interception, gas exchange and carbon balance of different canopy zones of minimally and cane-pruned field-grown Riesling grapevines.

Manuskript II setzt sich mit der systembedingt heterogenen Blattflächenentwicklung sowie einer hieraus resultierenden unterschiedlichen **Lichtinterzeption** von MP und VSP auseinander. Der Einfluss dieser Parameter auf den Wasserstatus der Reben wird anhand des frühmorgendlichen Blattwasserpotentials von MP und VSP verfolgt.

Über die dort aufgeführten Experimente und Ergebnisse wurde eine erstmalige hochauflösende Quantifizierung der räumlichen und temporären Lichtinterzeption von MP im Vergleich zu VSP innerhalb einer Vegetation unter kühlen Anbaubedingungen möglich.

Anhand experimentell gewonnener Daten des **Gaswechsels** verschieden inserierter Laubwandzonen von MP und VSP konnten deren individuelle Charakteristika und deren Anteil an der gesamten photosynthetischen Leistung des jeweiligen Systems bestimmt werden.

Daten der Blattflächenentwicklung in Kombination mit Daten des Gaswechsels erlaubten es unter Berücksichtigung der blattflächen- und temperaturabhängigen nächtlichen Respiration eine **Kohlenstoffbilanz** beider Systeme zu erstellen. Hierdurch konnte die maximale Kapazität zur Kohlenstoffakkumulation der beiden extrem verschiedenartig aufgebauten Systeme unter mitteleuropäischen Anbaubedingungen abgeschätzt werden.

Manuskript III: Physiological responses of minimal pruning systems to gibberellic acid.

Manuskript IV: Regulating yield and wine quality of Minimal Pruning Systems through the application of Gibberellic Acid.

Manuskript III und Manuskript IV befassen sich mit dem bisher unter mitteleuropäischen Anbaubedingungen ungelösten Problem hoher Mengenerträge in Verbindung mit Qualitätseinbußen von MP. Der von MP-Reben erbrachte Mengenertrag kann nicht nur die Qualität der Früchte und folglich der aus ihnen erzeugten Weine schmälern, sondern überschreitet zudem häufig gesetzlich vorgegebene Höchsterträge (Hektarhöchstertragsregelung).

Der Einsatz von Gibberellinsäure (GA_3) zur Verringerung der Fruchtbarkeit der Winterknospen von Reben stellt einen neuartigen Lösungsansatz zur praxistauglichen und zugleich ökonomischen Durchführung einer **chemischen** bzw. **hormonellen Ertragsregulierung** bei gleichzeitiger Qualitätssteigerung von MP dar.

Physiologische, morphologische und quantitativ-qualitative Auswirkungen des Einsatzes von GA_3 auf die Pflanzen und Früchte von MP-Reben wurden im Rahmen von Feldversuchen im Vergleich zu unbehandelten MP-Reben sowie zu dem praxisrelevanten Standard (VSP) erfasst und diskutiert.

2 Publikationen

Manuskript I: Long-term dynamics of nitrogen and carbohydrate reserves in woody parts of minimally pruned and severely pruned Riesling vines in a cool climate.

American Journal of Enology and Viticulture
(57:2, pp. 172-182)

Manuskript II: Light interception, gas exchange and carbon balance of different canopy zones of minimally and cane-pruned field-grown Riesling.

Vitis
(45 (3), pp. 105-114 (2006))

Manuskript III: Physiological Responses of Minimal Pruning Systems to Gibberellic Acid.

Acta Horticulturae
(No. 689, pp. 117-124)

Manuskript IV: Regulating yield and wine quality of Minimal Pruning Systems through the application of Gibberellic Acid.

Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin
(akzeptiert)

Long-term Dynamics of Nitrogen and Carbohydrate Reserves in Woody Parts of Minimally and Severely Pruned Riesling Vines in a Cool Climate

Karsten M. Weyand¹ and Hans R. Schultz^{1,2*}

Abstract: Seasonal dynamics of reserve nitrogen (N) over five years and nonstructural carbohydrates over three years were monitored at six vine phenological stages in one-, two-, or older than two-year-old wood fractions of minimally (MP) and severely pruned (VSP) Riesling (*Vitis vinifera* L.) under cool-climate conditions. Levels of reserve nitrogen were highest in all woody fractions and both pruning systems at leaf fall, dormancy, and budbreak and lowest at bloom, bunch closure, and veraison. In general, N-concentrations were lower in older wood fractions. The magnitude of N-mobilization between budbreak and bunch closure and N-replenishment after veraison was higher for MP vines than for VSP vines and correlated with leaf area formation and leaf area loss, respectively. During the observation period, MP attained higher concentrations of N at most sampling dates in all wood fractions as compared with the VSP system, with the greatest differences in 2002 and 2003. Over a five-year period, N-concentration at veraison declined in both systems, which may have been related to the long-term trend in seasonal plant water status. Changes in dry matter and total nonstructural carbohydrates (TNC) in different wood fractions followed a similar general pattern as changes in N, but mobilization and replenishment occurred at earlier phenological stages. Concentrations in glucose, fructose, and sucrose decreased to almost the lowest values during the season at budbreak and increased again before leaf fall, whereas starch degradation occurred after budbreak and its re-formation between bunch closure and veraison. Minimum TNC concentration, usually observed between full bloom and bunch closure, increased with age of the woody fraction but decreased over the three seasons for all fractions and both systems. With the exception of 2001, MP had slightly lower concentrations in TNC and its component sugars for most sampling dates.

Key words: minimal pruning, vertical shoot-positioned, total nonstructural carbohydrates, nitrogen, wood fractions

Minimal pruning systems (MP) have been used in Australia for several decades. The concept of MP is now considered an economically viable viticultural management technique to produce fruit of satisfactory quality for wine production with varieties such as Syrah, Cabernet Sauvignon, Cabernet franc, and Semillon (Clingeleffer 1992) across a diverse range of warm and cooler regions. Although there have been trials to adapt the system to cool, traditionally nonirrigated wine regions in Europe, results are somewhat contradictory with cases where yield and quality have been termed satisfactory (Schultz et al. 2001, Intrieri et al. 2001) and cases where this was not observed (Carbonneau 1991, Ollat et al. 1993). One major concern for

implementing MP as a production system in temperate cool climates is sustainability. Environmental constraints such as cool temperatures, a short growing season with only a brief postharvest period where leaves are retained, and low rainfall set limits to grape production. These conditions combined with known plant responses to MP, such as high yields, delayed maturity, large leaf areas (Clingeleffer 1984), and thus increased water consumption (Schmid and Schultz 2000), may affect long-term production due to possible constraints on the reserve economy of the vines.

Carbohydrates and nitrogen stored in the roots and woody parts of perennial plants such as grapevines are essential for a sustainable quality crop production because of their role in cold hardiness, leaf area formation, inflorescence induction, and the development of the crop itself, particularly under stress situations (Winkler and Williams 1945, Scholefield et al. 1978, Loescher et al. 1990, Candolfi-Vasconcelos et al. 1994, Zapata et al. 2004, Cheng et al. 2004). Pruning level has been shown to affect the degree of depletion of carbohydrate reserves, and in a comparison between MP and spur-pruned vines in a hot climate under irrigated conditions, Rühl and Clingeleffer (1993) found that, while total carbohydrate reserves remained the same on a per vine basis, the partitioning between organs was altered. Spur-pruned vines accumulated

¹Institut für Weinbau und Rebenzüchtung, Fachgebiet Weinbau, Forschungsanstalt, and ²Fachbereich Geisenheim, Fachhochschule Wiesbaden, von Lade Straße 1, D-65366 Geisenheim, Germany.

*Corresponding author [fax: (49) 6722 502140; email: h.schultz@fa-gm.de]

Acknowledgments: The authors thank the Forschungsring des Deutschen Weinbaus (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft) for financial support. We also thank Angelika Bär for conducting the enzymatic analyses, Ursula Craß for sampling in 1999, and Dieter Ettingshaus for grinding most samples.

Manuscript submitted November 2005; revised February 2006

Copyright © 2006 by the American Society for Enology and Viticulture. All rights reserved.

less carbohydrates in old wood but more in their canes and roots than MP vines. MP vines also had accumulated less nitrogen specifically in the roots. While that study and subsequent research (Sommer 1995) concluded that MP had no detrimental effect on reserve formation, the reaction under nonirrigated, cool-climate conditions could be substantially different.

Additionally, leaf area to fruit ratios required for adequate ripening under cool-climate conditions may be between 10 and 20 cm² leaf area/g of fruit (Kliwer and Dokoozlian 2005). This requirement decreases in warmer climates but is also reduced by minimal pruning (Clingeleffer 1984, Downton and Grant 1992). While the direct consequences for fruit ripening are obvious, Murisier (1996) also demonstrated a linear correlation between leaf area to fruit ratio and the formation of carbohydrate reserves in woody parts and roots.

In our study, both nitrogen and carbohydrate reserve dynamics in the woody parts of MP and pruned (VSP) vines were examined. These dynamics were studied over several years in order to identify possible long-term changes related to the viticultural system that was used.

Materials and Methods

Experimental design. Field experiments were conducted with *Vitis vinifera* L. cv. Riesling (clone: Gm 198/ rootstock: 5C, planted in spring 1977) from 1999 to 2003 in Geisenheim, Germany (50°N, 8°E). Compared to other cool-climate locations where MP systems have been tested, such as Coonawarra, Australia, this site has about 300 heat units (calculated as average monthly temperature above 10°C with a 19°C upper cut-off multiplied by the number of days per month) (Gladstones 1992) less over the growing season (1045 as compared to 1337) with an annual precipitation of 534 mm (as compared to 638 mm for Coonawarra). The experimental vineyard had a south to southwest exposure with a slope of 15 to 20% and a loam to clay-loam soil. The minimally pruned (MP) plots were converted from a Sylvoz trellis during the winter 1995 to 1996 and compared to the standard vertical shoot-positioned system (VSP). Both systems were arranged in three replicated randomized blocks of two to five rows each, with a row by vine spacing of 2.8 m x 0.85 m for MP and 2.0 m x 1.2 m for VSP, respectively. The replicates were blocked down the slope and each block contained 48 vines (total of 144 vines per pruning system). The VSP was cane-pruned to 8 buds/m² (19 buds/vine).

Plant material. Wood samples were collected from three plants per field replicate during six phenological stages following the developmental scale (BBCH) of Eichhorn and Lorenz (1977). Sampling times in all years were during dormancy (prebudbreak, January to February; D) (BBCH 00), at budbreak (end of April to beginning of May; BB) (BBCH 11), bloom (June; B) (BBCH 65), bunch closure (July; BC) (BBCH 77), veraison (mid-August; V) (BBCH 81), and end of leaf fall (end of October to begin-

ning of November; LF) (BBCH 97), except for 2003 when no samples were collected during dormancy and bloom. Wood samples were cut from the vines with a pair of pruning shears and separated into three fractions: one-year-old wood, two-year-old wood, and wood older than two years (>2 years contained parts of trunks and cordons). Obviously, the older wood fractions also contained annual rings of younger wood. About 30 to 75 g was sampled per replicate (three vines) and wood fraction. The same vines were not re-used the next year. Root samples were also collected during the 1997 season, for which roots were excavated with a back hoe at a distance of 50 cm from the trunk to a depth of ~70 cm. Samples were taken from a total of 12 vines across the three blocks. The root material taken from three successive vines was pooled into a replicate (~75 to 125 g). No distinction was made between different root categories. Vines were repeatedly sampled over the season. Both wood and root samples were weighed to determine fresh weight, dried for 1 hr at 105°C to deactivate enzymes, again dried 48 hr at 60°C, and then reweighed to determine dry weight. The dried samples were ground in two steps: first with a coarse grinder (type SM1, Retsch GmbH, 42781, Haan, Germany), then with a fine grinder to pass mesh size <0.2 mm (type cyclotec 1093, tecator, 26383, Höganös, Sweden) in preparation for carbohydrate and nitrogen analyses.

Carbohydrate and nitrogen analyses. Analyses of total nonstructural carbohydrates (TNC: the carbohydrate not bound into structural components such as cellulose) and its components starch, sucrose, fructose, and glucose followed the enzymatic assays of Boehringer (1989). For sugar determination, 500 mg of dry homogenized sample were extracted in 25 mL distilled water at 60°C in a swirling water bath for 1 hr. The pH was measured and if necessary regulated to 4 to 5 by adding some drops of sodium hydroxide (NaOH, 5 molar sol.). The entire solution was then transferred into a 100-mL volumetric flask, brought to volume with distilled water, mixed, and 20 mL was filtered (N 33 wet filter, Ederol) into a test tube for the assay. For starch determination, 500 mg dry homogenized sample material was extracted in 20 mL dimethyl sulfoxide with 5 mL HCL (8 molar sol.) for 1 hr at 60°C. All remaining steps were as with the sugars. Enzymatic sample preparation was according to Boehringer (1989) and quantification was performed using a photometer (Specord 200, analytikjena AG, D-07745, Jena, Germany).

Nitrogen (N) was analyzed on samples collected in 1999 and 2000 by the Kjeldahl (Kj) method using 500 mg of dried, homogenized material. From 2001 forward, N was analyzed using an automated high-temperature combustion (HTC) method coupled to a nitrogen gas analyzer (Vario MAX CNS, Elementar Analysensysteme GmbH, 63452 Hanau, Germany) using 200 mg of dried homogenized samples. All laboratory analyses were performed in duplicate.

A population of samples (40) from the two training systems, all three wood fractions, and all six phenological

stages from 1999, 2000, and 2001 were analyzed for nitrogen with both methods to examine possible differences between the two techniques. Results were linearly correlated, but the Kj-N consistently gave higher N-values (Figure 1). These results were independent of canopy system, phenological sampling stage, year, or wood fraction. As a goal was to present long-term data in this study, the regression result was used to recalculate the N-values from 1999 and 2000 so that they were comparable to the results of the HTC method, which is a more recent and advanced technique.

Leaf area determination. Leaf area development was determined on four dates (bloom, bunch closure, veraison, and at the beginning of leaf fall [mid-October]) in 2002 and 2003 for both systems. For VSP, four plants per date were chosen at random with a minimum of one plant per block, while for MP, four strips of a canopy length of 0.85 m each (= planting distance) were sampled because it was impossible to separate individual vines in this treatment. In 2002, all leaves were stripped off the plants. Individual leaf length (midrib) was measured and correlated to individual leaf area (Schultz 1992). This method was extremely time-consuming, so measurements were simplified in 2003. For each plant or planting distance sampled, the leaf length of 10 leaves was measured for the VSP treatment (total $n = 40$ sampling date⁻¹) and 60 for the MP treatment (total $n = 240$ sampling date⁻¹). Leaves were then dried at 65°C (24 hr) and individual leaf dry weight determined. Individual leaf area was expressed as a function of leaf weight, which gave linear regression coefficients, R^2 , between 0.69 and 0.86 depending on the sampling date. The remaining populations of leaves on these plants were harvested, split into four groups per plant or planting distance, and dried. Established regressions were extrapolated

to these dry weight values to calculate leaf area. This method somewhat overestimates total leaf area at the beginning of the season when growing leaves are present, but in general the results agreed well with leaf areas determined during the previous year for the same phenological stages.

Measurements of plant water status. Leaf water potential (Ψ_{pd}) was determined predawn with a pressure chamber (Soilmoisture Corp., Santa Barbara, CA) on eight fully expanded leaves per treatment (each from a different vine and sampled across all blocks) from the central part of the canopy. Measurements were conducted between 8 (2000) and 16 (2003) times per season.

Statistical analysis. Linear regressions and analyses of variance (ANOVA, Holm-Sidak method) were calculated with SigmaStat 3.1 (Systat Software, Point Richmond, CA).

Results and Discussion

Analyses of different wood fractions (one-year-old, two-year-old, and >two-year-old wood) during the course of five years (1999 to 2003) of field-grown MP and VSP grapevines revealed strong seasonal dynamics for both nitrogen (N) and carbohydrates.

Nitrogen reserves: seasonal dynamics. Levels of reserve-N were highest in all woody fractions of both pruning systems during dormancy (BBCH 0) (January to February), budbreak (BBCH 11), and leaf fall (BBCH 97) (Figure 2). Highest values during dormancy were found in one-year-old wood and ranged from 0.50 to 0.68% (on a dry weight basis) depending on the year and the training system. Reserve pools were lower between bloom and veraison, with minimum values often attained at bunch closure. N-concentrations were lower in older wood fractions irrespective of the time during the season and the year in question, and the range of N-concentrations over the six phenological stages was smaller with increasing wood age (Figure 2).

These general results confirm those obtained for young (three years) (Schaller et al. 1989) and mature (>18 years) grapevines in the field (Löhnertz 1988) and those obtained on either potted vines or cuttings grown in sand culture and trenches (Conradie 1990, Cheng et al. 2004, Zapata et al. 2004). However, while Cheng et al. (2004) and Zapata et al. (2004) reported a 20 to 40% decrease in N-concentration of perennial plant parts (with or without roots) from budbreak to early bloom for small potted or greenhouse grown plants, our data suggest greater remobilization during the same period with a 55 to 70% reduction of total reserve-N. These values corroborate those of Schaller et al. (1989), where the main N-storage form mobilized was arginine, but contrast those of Bates et al. (2002), which indicated little change in N-concentration of aerial woody parts throughout the growing cycle for three-year-old field-grown Concord grapevines.

Nitrogen reserves: differences related to training system. One-year-old wood of MP vines had higher N than

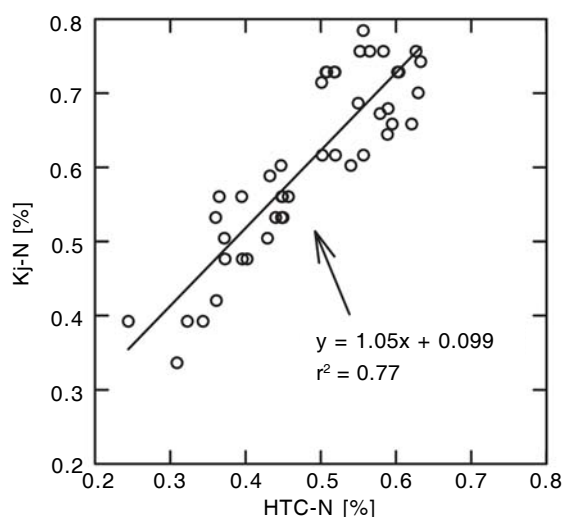


Figure 1 Relationship between values of nitrogen content determined with the Kjeldahl method (Kj-N) and values obtained with the high-temperature combustion method (HTC-N) on a randomized population ($n = 40$) comprising samples from all wood ages of both pruning systems from 1999 to 2001. Data points represent the mean of a double laboratory analysis.

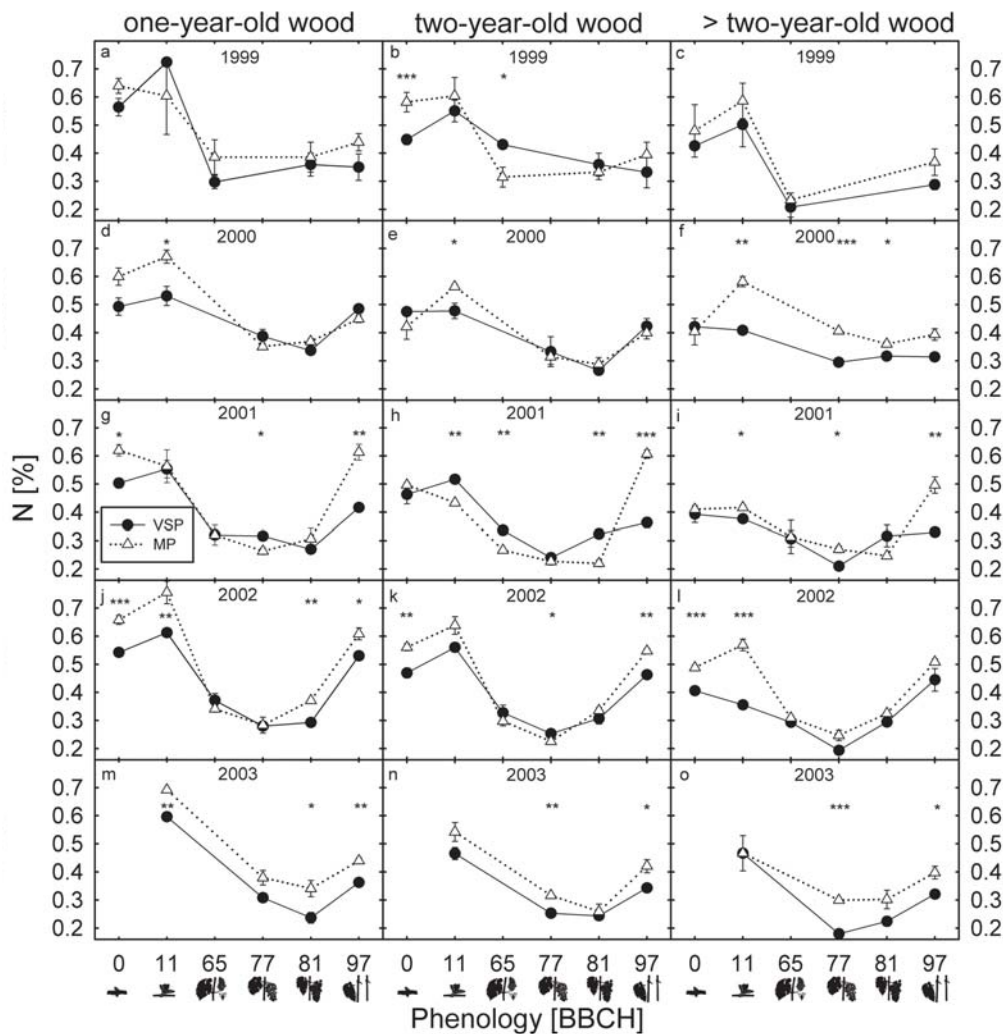


Figure 2 Nitrogen dynamics of different wood fractions for VSP and MP vines as a function of phenological stage over the course of five seasons (1999 to 2003). Phenological picture code is according to the BBCH system. Values are means $\pm$ SE with $n = 3$. *, **, and *** indicate significance at $p \leq 0.05$, 0.01 , and 0.001 , respectively.

VSP vines at dormancy during the four years it was measured. These differences between MP and VSP were less consistent at budbreak and leaf fall and for older wood (Figure 2). Rühl and Clingeleffer (1993) also found slightly, albeit not significantly, higher values for MP vines than for spur-pruned vines during dormancy with 0.68 (MP) to 0.62% (spur-pruned) for one-year-old wood and 0.30 to 0.29% for old wood, respectively.

N-concentration tended to be higher at budbreak than at dormancy in most samples (Figure 2). This increase is thought to be related to N-transport from the roots to the aerial parts of the vine (Löhnertz 1988, Schaller et al. 1989), since most N-reserves are located in the roots (Conradie 1990) and substantial amounts of N-compounds are transported in the xylem during the prebudbreak period (Campbell and Strother 1996). We have only limited information on the dynamics of N in roots for our experiment, but N-concentration at budbreak was similar in MP and VSP vines in the 1997 season (Figure 3), and other data from the same field also show no clear differences.

The higher N-concentration observed in the aerial woody parts of MP as compared to the VSP vines at dormancy and budbreak (in most cases) may be due to differences in root size of the two pruning systems and there-

fore differences in the reserve-N pool. However, both the smaller (Rühl and Clingeleffer 1993) and the larger root systems (Sommer 1995) have been reported for MP compared with VSP vines. A fraction of nitrogenous compounds may also have been lost through bleeding sap (Glad et al. 1992) in the pruned as compared to the unpruned vines.

It is generally assumed that nitrogenous reserves for new shoot and leaf growth are more readily available from one-year-old wood than from the older wood fractions, and least available from roots (Schaller et al. 1989, Conradie 1990), and our data would support this (Figures 2 and 3). Depletion of N-reserves between budbreak and bunch closure and refilling of N-reserves between veraison and leaf fall was greater for MP than for VSP vines irrespective of year and wood fraction (Figure 2). In grapevines and other woody perennials, N-reserves play a crucial role in supplying early season growth (Löhnertz 1988, Chen et al. 2004), but the importance of N as compared to carbohydrate reserves has recently been questioned (Zapata et al. 2004). We correlated changes in N in different wood fractions occurring during different phenological phases with the corresponding changes in leaf area for each training system in 2002 and 2003 (Figure 4). For both years and all

wood fractions, good correlations ($r^2 = 0.65$ to 0.99) were obtained between change in leaf area, Δ -LA ($\text{m}^2 \text{vine}^{-1}$), and change in %N, Δ -N (%), of the wood.

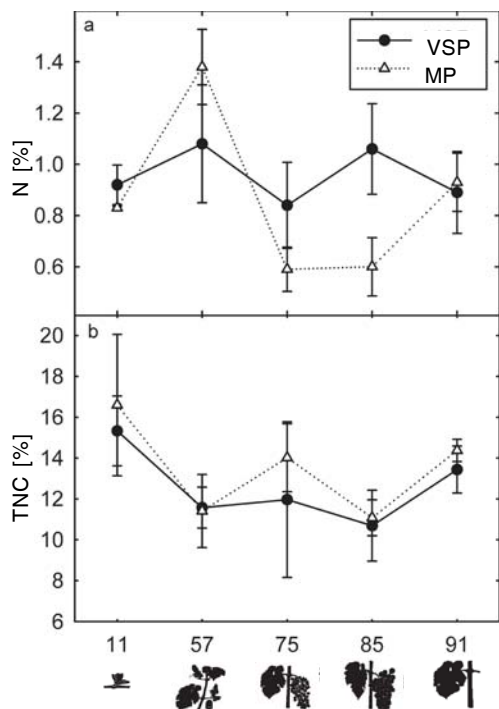


Figure 3 Nitrogen and total nonstructural carbohydrate (TNC) dynamics of roots from VSP and MP vines as a function of phenological stage during the 1997 season. Values are means $\pm$ SE with $n = 4$.

linear regression between Δ -LA and Δ -N was substantially higher for MP (-56 to -97) than for VSP (-28) because of greater changes in leaf area of MP versus VSP vines (Figure 4). The reported contribution of N-reserves from the wood to leaf development until bloom in the field varies widely. For young pruned vines, it was between 14 and 26% in California (Araujo and Williams 1988) and between 25 and 87% in Germany (Löhnertz 1988, Schaller et al. 1989), with the latter value being the amount mobilized from one-year-old wood. In total this amounts to 1.1 to 2.3 g N/vine for a VSP system such as used in the present study in a cool-climate situation (Schaller et al. 1989). At bloom, leaf area for MP was $12 \text{ m}^2/\text{vine}$ on average over the years as compared with $3.6 \text{ m}^2/\text{vine}$ for VSP, which would indicate that roughly 3.6 to 7.6g N/vine would be needed from the wood fraction to support growth for MP vines. The portion of wood from which these N-reserves could be drawn in the MP system was estimated to be at least 10 times as large as the VSP system. Additionally, MP vines may have mobilized more N from the roots between bunch closure and leaf fall (Figure 3), which may have been necessary to sustain the higher number of shoots and greater leaf area during summer and the higher amount of fruit formed by the MP system (Table 1). Both have been shown to enhance N-depletion in storage organs of grapevines (Balasubrahmanyam et al. 1978).

N-retranslocation into MP wood and roots seemed to have started earlier or was more rapid than that into VSP wood because concentrations at leaf fall were higher for the wood fraction of MP vines (Figure 2), which may be

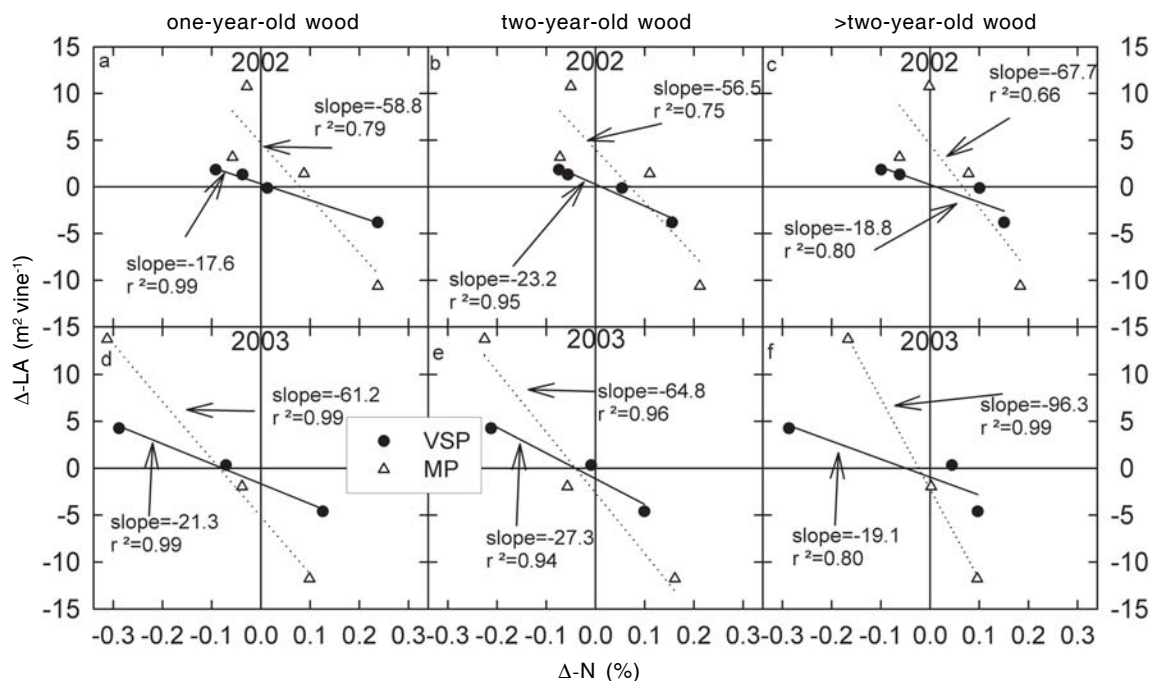


Figure 4 Change in leaf area (Δ -LA) from budbreak to bloom, bloom to bunch closure, bunch closure to veraison, and veraison to leaf fall as a function of change in nitrogen concentration (Δ -N) for wood fractions of different age over two seasons (2002 a-c and 2003 d-f) for VSP and MP vines. For 2003, differences were calculated for budbreak to bunch closure because no bloom-time measurements were made (d-f). Linear regression lines are shown to underline tendencies.

related to earlier leaf senescence frequently observed for these systems (Sommer 1995). During the senescence process, proteins are hydrolyzed and organelles are broken down to form nitrogenous compounds which are translocated back to the storage organs (Yang et al. 2001). Although leaves contain a large proportion of N, Williams (1987) found only small amounts that were retranslocated to the trunk and roots of Thompson Seedless vines, whereas other studies have shown that up to 40% of leaf N is recycled (Conradie 1990). Data from Schaller et al. (1989) suggest that substantial amounts of arginine from the leaves were contributing to the increase in N-reserves in one-year-old wood.

Over the years, a trend was observed for veraison N-concentrations to decrease for both systems and all wood fractions (Figure 2). This decrease was greater for VSP than for MP vines in one-year-old wood. In general, the decrease in N-concentration may be related to plant water status (Figure 5). Predawn water potential around veraison slowly decreased over the five-year study period and specifically from 2001 to 2003 (see arrows, Figure 5). Since veraison has been identified as the second peak period for N-uptake from roots with the majority incorporated into the fruit and woody reserves (Löhnertz 1988, Bates et al. 2002), low water availability may have hampered this uptake. While this development may be explicable by reduced root uptake, it does not explain why MP vines had higher N-values despite lower water potentials and why these higher N-values were generally found up to leaf fall, the period with the lowest yearly water potential values in

most years (Figure 5). It could be argued that MP vines, because of their much larger leaf area (about three times that of VSP), transpired more during the early parts of the season when soil moisture was still adequate (Schmid and Schultz 2000), thereby also increasing whole-vine N-uptake. This may have increased leaf N-content (Falcetti et al. 1995) before soil water became depleted and leaf water potential decreased later during the season (Figure 5). Low water potential may have accelerated leaf aging and senescence in older leaves and thus nutrient retranslocation into the wood (Yang et al. 2001). Additionally, we observed an average leaf area to fruit ratio (2001 to 2003) of about 20 cm²/g fruit for MP vines as compared to about 16 cm²/g fruit for VSP vines at maximum canopy development, which may have also influenced nutrient demand and partitioning into reserves (Murisier 1996).

Carbohydrate reserves: seasonal dynamics. Dry matter, total nonstructural carbohydrates (TNC), and the component sugars glucose, fructose, and sucrose decreased between dormancy and budbreak (Figures 6, 7, 8, 9, and 10), whereas starch concentration tended to increase during this period in most of the studied wood fractions (Figure 11). The increase in starch was probably related to assimilation from sugars associated with an increase in ambient temperature before budbreak (Eifert et al. 1961, Korkas et al. 1994), which replenished starch depleted for maintenance respiration in winter (Mooney and Gartner 1991). The magnitude of seasonal change in dry matter and TNC was greater in younger woody parts (Figures 6 and 7), which is possibly related to a decrease in availability of stored carbohydrates from older wood (Winkler and Williams 1945, Mooney and Gartner 1991). Dry weight was slightly higher and TNC was lower in older wood fractions during the dormant season, and both reached a minimum at bunch closure (Figures 6 and 7). The starch fraction had a similar minimum at bunch closure in one- and two-year-old wood in most years, but did not decrease in wood older than two years. This lack of change in starch in wood older than two years supports current belief that older wood has less remobilization capacity, possibly because of reduced activity of enzymes such as

Table 1 Average shoot number and yield per unit of soil surface during the 2002 to 2004 seasons. Data are the mean of single years $\pm$ SE from 10 plants for VSP and 4 plants for MP.

	Shoots (number·m ⁻²)	Yield (t·ha ⁻¹)
VSP	6.3 $\pm$ 0.5	13.0 $\pm$ 1.1
MP	57.0 $\pm$ 10.9	25.7 $\pm$ 1.3

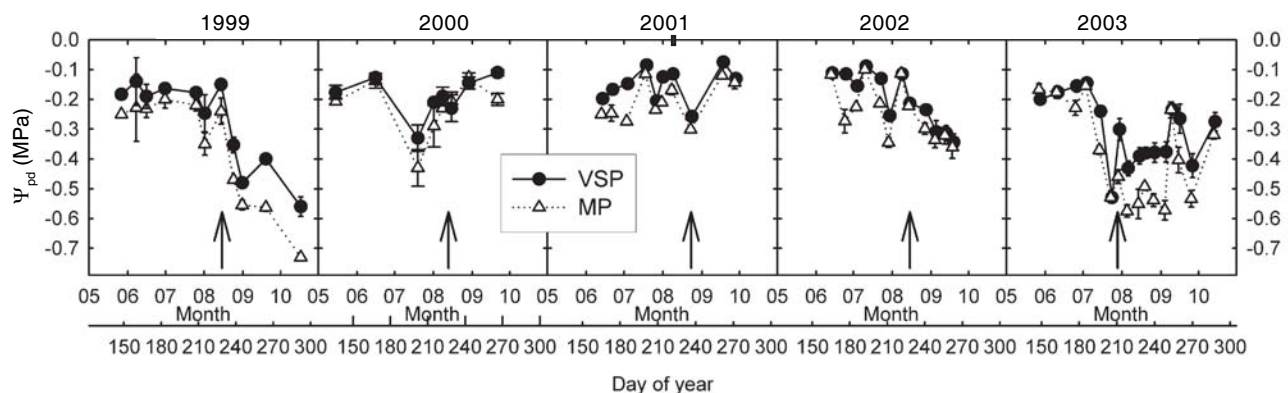


Figure 5 Predawn leaf water potential during the growing seasons of 1999 to 2003 for VSP and MP vines of the cultivar Riesling. Arrows indicate date of veraison. Data are the mean $\pm$ SE ($n = 8$).

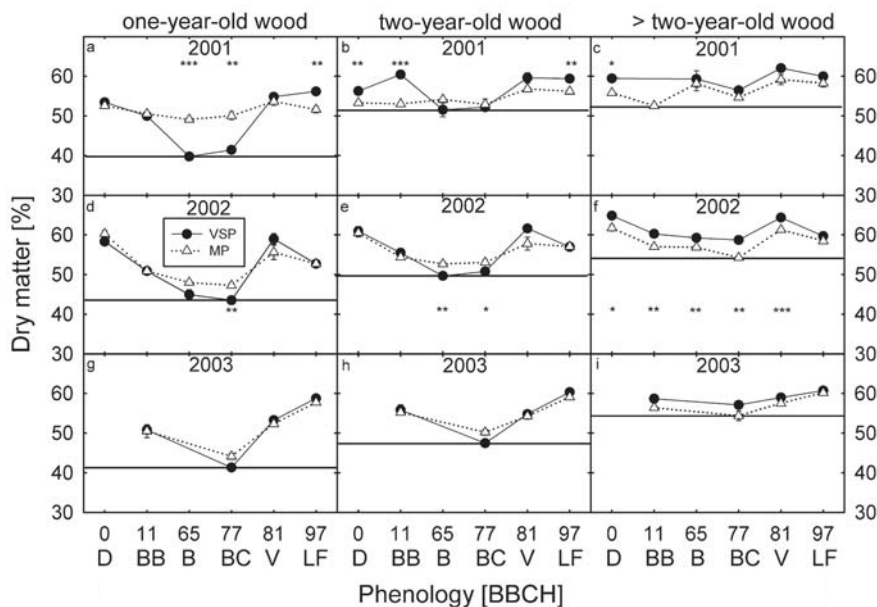


Figure 6 Evolution of dry matter (%) as a function of phenological stage (BBCH) of different wood fractions for VSP and MP vines over the course of three seasons (2001 to 2003) (D: dormancy; BB: budbreak; B: bloom; BC: bunch closure; V: veraison; LF: end of leaf fall). Values are means $\pm$ SE with $n = 3$. *, **, and *** indicate significance at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

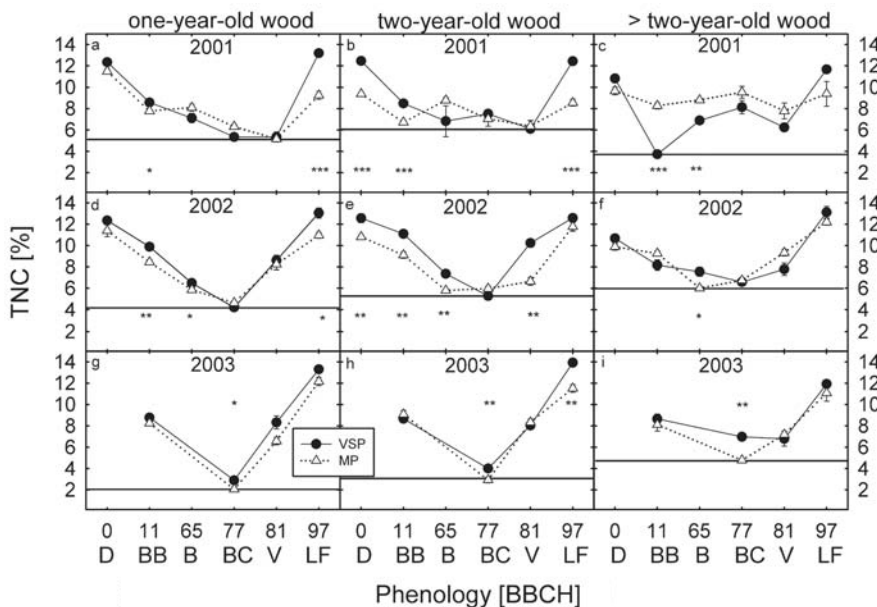


Figure 7 Dynamics in total nonstructural carbohydrates (TNC) in different wood fractions as a function of phenological stage (BBCH) for VSP and MP vines over the course of three seasons (2001 to 2003) (abbreviations as in Figure 6). Values are means $\pm$ SE with $n = 3$. *, **, and *** indicate significance at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

amylase, phosphorylase or acid phosphatase, and their isoenzymes (Loescher et al. 1990).

This seasonal pattern in carbohydrate dynamics with starch being the main component of TNC seems a general feature for grapevines and has been observed before (Winkler and Williams 1945, Eifert et al. 1961, Scholefield et al. 1978, Williams 1996, Hamman et al. 1996, Bates et al. 2002, Zapata et al. 2004). However, amounts in TNC and starch may differ substantially depending on climate or cultivation practices.

In this and other studies conducted under cool-climate conditions, maximum TNC values of 13 to 16% (during the dormant phase) and a minimum value of 3 to 6% at bunch closure were found (Eifert et al. 1961, Korkas et al. 1994). However, Winkler and Williams (1945) in California (cv. Grenache) and Scholefield et al. (1978) in Australia (cv. Sultana), reported much higher TNC values throughout the year in warmer climate conditions, suggesting that climatically favorable conditions may lead to a carbohydrate “surplus” (Mooney and Gartner 1991).

We found maximum starch concentrations of ~5.0% to 8.0% at budbreak and veraison and minimum concentrations of <1.0% to 3.0% at bunch closure for one- and two-year-old wood (Figure 11). While TNC levels increased until leaf fall (Figure 7), starch did not (Figure 11), possibly because of conversion into glucose, fructose, and sucrose (Figures 8, 9, 10). Eifert et al. (1961) also reported two peaks in starch concentration of perennial tissue of grapevines just before budbreak and during midripening when shoots lignified.

Concentrations in glucose, fructose, and sucrose decreased to almost the lowest values during the season at budbreak and increased again just before leaf fall (Figures 8, 9, 10). This pattern confirms the bulk of data found in the literature (Winkler and Williams 1945, Mooney and Gartner 1991, Hamman et al. 1996), although actual absolute concentrations vary from study to study. The increase in sugars before leaf fall, usually attributed to frost acclimation (Hamman et al. 1996), was not in response to frost exposure in this study. In 2001 and 2002, the last samples were collected before the first frost (date of first frost: 9 Nov 2001; 8 Dec 2002; 24 Oct 2003). The ratio of [(Glucose + Fructose)/Sucrose], an indicator of frost hardness, remained >2

throughout the seasons in every year, which is usually not reported for *Vitis vinifera* (Hamman et al. 1996).

Sucrose, the major transport form of carbohydrates in higher plants and grapevines (Swanson and El-Shishiny 1958, Williams 1996), reached a maximum at dormancy before budbreak and leaf fall in all years and in wood fractions of both training systems. The high concentrations at these phenological stages suggest that the periods before budbreak and leaf fall are active for transport out and into reserve tissue, respectively. Changes for glucose and fruc-

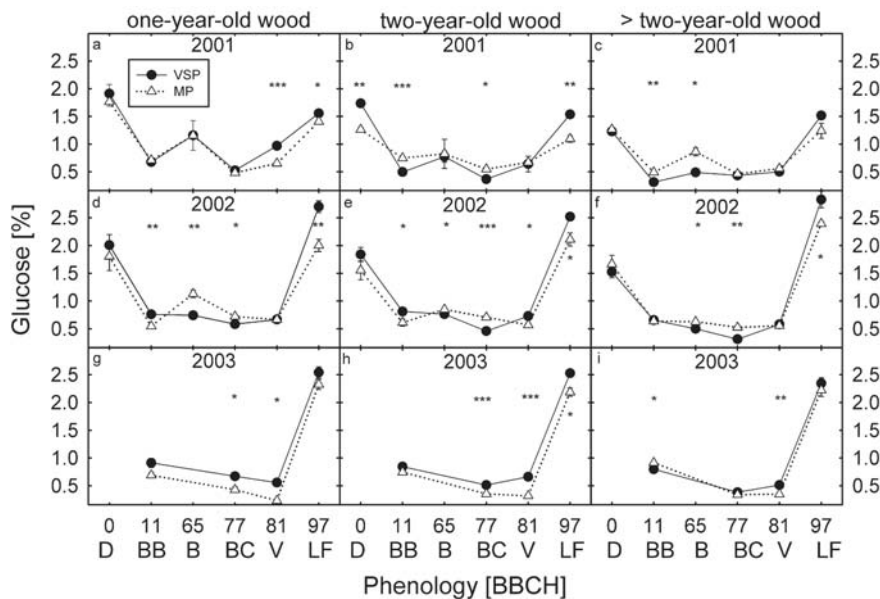


Figure 8 Changes in glucose concentration in different wood fractions as a function of phenological stage (BBCH) for VSP and MP vines over the course of three seasons (2001 to 2003) (abbreviations as in Figure 6). Values are means $\pm$ SE with $n = 3$. *, **, and *** indicate significance at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

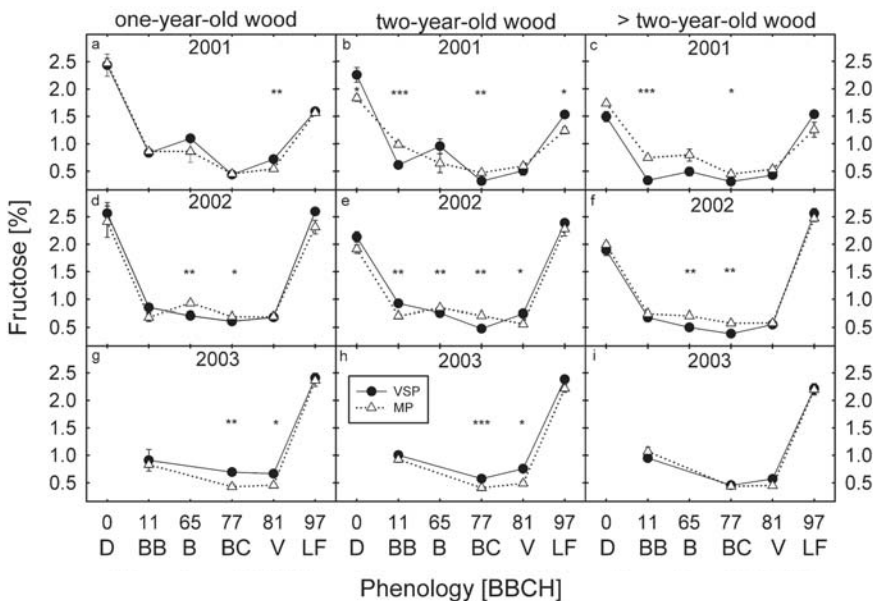


Figure 9 Changes in of fructose concentration in different wood fractions as a function of phenological stage (BBCH) for VSP and MP vines over the course of three seasons (2001 to 2003) (abbreviations as in Figure 6). Values are means $\pm$ SE with $n = 3$. *, **, and *** indicate significance at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

tose may be more related to conversion into and out of starch, respectively, at these times (Eifert et al. 1961).

Carbohydrate reserves: differences related to training system. Dry weight was higher in general at bloom and bunch closure in one-year-old wood of MP compared with VSP vines. The opposite trend was observed in wood older than two years (Figure 6). There was a combined effect of the year and pruning system noticeable for TNC, sugar, and starch concentrations. While glucose, fructose, and sucrose concentrations were similar in all wood frac-

tions for both pruning systems in 2001 and 2002, they tended to be lower from budbreak through veraison in one-year-old wood of MP in 2003 (Figures 8, 9, 10). Starch and TNC concentrations were also similar, with a trend toward lower values during leaf fall of MP (Figures 7 and 11). Old wood had higher TNC and starch concentrations for MP vines for most of the season in 2001 (Figures 7c and 11c), but this trend seemed to gradually reverse during midsummer through the 2002 to 2003 seasons (Figures 7f,i and 11f,i).

Rühl and Clingeffer (1993) found no differences in sugars and starch on a percent dry weight basis between spur-pruned and minimally pruned Cabernet franc vines during the dormant season in one-year-old canes, but slightly higher sugar concentrations for MP vines in both old wood and roots. However, on a g/vine basis, spur-pruned vines had higher values for all carbohydrate fractions in one-year-old wood, lower starch and sugars in old wood, but higher starch in the roots as compared to MP vines of similar size. If vine size differs, as in the current study, even if concentration differences are small or absent, then the total amount of carbohydrates stored in roots and old wood is much higher for the MP vines (Sommer 1995).

Lower budbreak and leaf-fall values for TNC and starch in one-year-old wood of MP vines could have three explanations. One, carbohydrates mobilize to support spring leaf growth, since swelling buds are a sink for carbohydrates (Glad et al. 1992). Two, reproductive organs compete for reserve TNC in perennial storage tissue (Loeschner et al. 1990), where minimal pruning because of higher yield (Table 1) exerts a higher demand for carbohydrates. Three, above-ground carbohydrate dynamics are coupled to below-ground growth, and roots can be a large sink for carbohydrates (Bates et al. 2002) for storage and respiration (Williams 1996, Zapata et al. 2004). Assuming larger root systems for MP vines (Sommer 1995), increased demands for root growth may have caused this temporary depletion, since active root growth coincides with the phases of depletion reported here (Freeman and Smart 1976).

The decrease in dry weight with increasing wood age for the MP as compared with the VSP system may indicate a reduction in absolute carbohydrate storage capacity

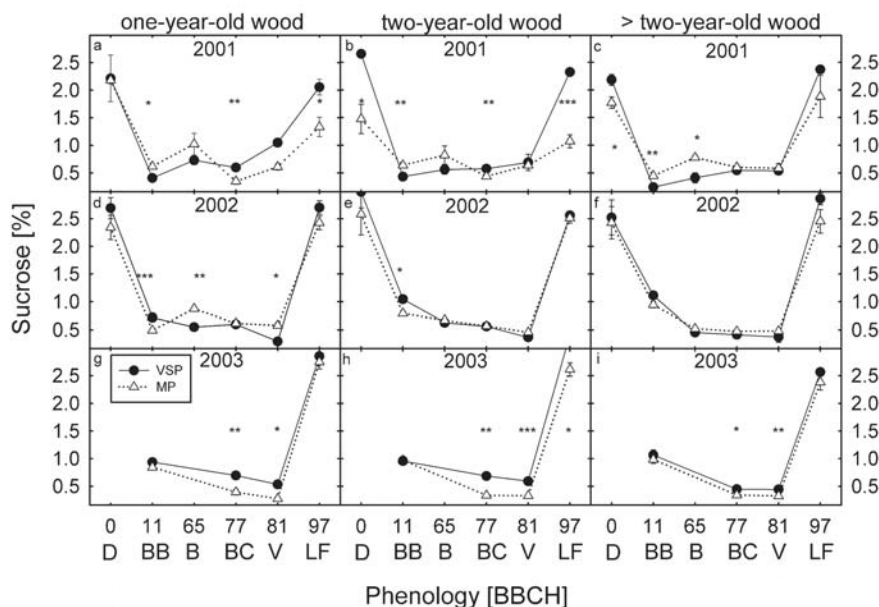


Figure 10 Changes in of sucrose concentration in different wood fractions as a function of phenological stage (BBCH) for VSP and MP vines over the course of three seasons (2001 to 2003) (abbreviations as in Figure 6). Values are means $\pm$ SE with $n = 3$. *, **, and *** indicate significance at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

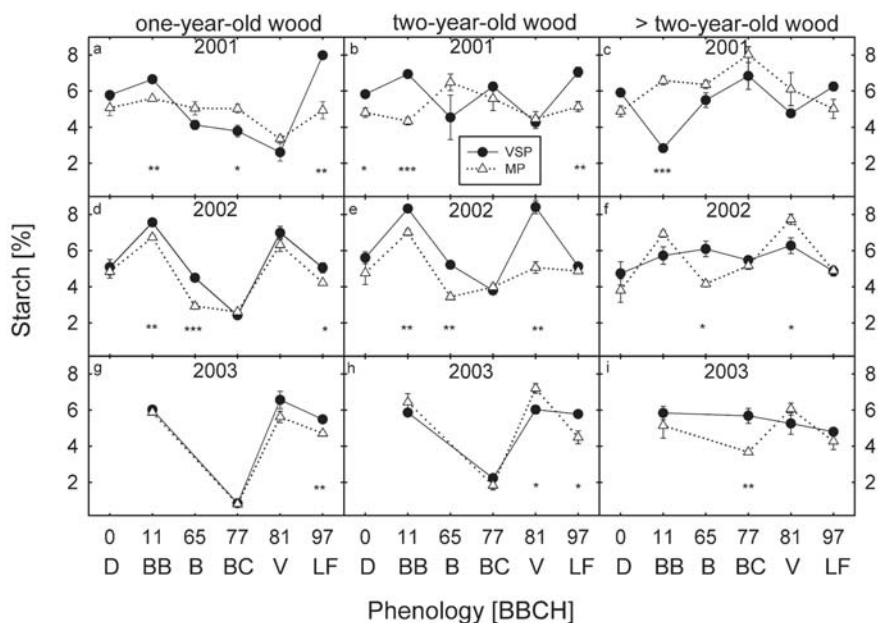


Figure 11 Dynamics of starch concentration in different wood fractions as a function of phenological stage (BBCH) for VSP and MP vines over the course of three seasons (2001 to 2003) (abbreviations as in Figure 6). Values are means $\pm$ SE with $n = 3$. *, **, and *** indicate significance at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

even at constant carbohydrate levels on a percentage basis. It is possible that shoot trimming of the VSP vines during the season in our study redirected partitioning of carbohydrates into permanent parts of the vine (Loescher et al. 1990).

TNC and starch concentrations in summer decreased slightly more for MP vines, especially in wood older than two years (Figures 7 and 11). This decrease may have been related to the level of water deficit present in 2002 and 2003 (Figure 5). Predawn water potential between

bunch closure and harvest ranged between -0.3 and -0.4 MPa in 2002 and between -0.4 and -0.6 MPa in 2003, with lower values for MP vines. This water stress can cause substantial inhibition of photosynthesis and may have necessitated an increase in carbohydrate mobilization from storage tissues such as wood and roots (Candolfi-Vasconcelos et al. 1994). However, in a pot study, Rühl and Alleweldt (1990) found an increase rather than a decrease in carbohydrate levels (on a % dry weight basis) in wood and root tissue under prolonged water deficit for most varieties because of the decreased demand of aboveground growth.

Contrary to other data showing a decrease in leaf area to fruit ratio for MP vines as compared with standard pruning (Clingeffer 1984, Downton and Grant 1992, Kliewer and Dokoozlian 2005), we observed an increase (20 cm²/g fruit compared with ~16 cm²/g fruit). Whereas higher leaf area to fruit ratio has been positively correlated with the amount of carbohydrate stored in perennial tissues (Murisier 1996), our data did not show such an effect. The absence of such a correlation for MP vines is probably related to the larger proportion of shaded leaf area in MP canopies as compared with VSP canopies, since shade leaves contribute little to whole-plant carbon gain (Intrieri et al. 2001).

Despite the slightly lower reserve carbohydrate concentrations in perennial organs of MP vines, there was no limiting effect on N-accumulation by the roots (Loescher et al. 1990), since N was higher in MP wood even in the driest year (2003). From the available data, it can be inferred that there are no obvious limitations in terms of carbohydrate reserves for MP vines even in very dry years under cool-climate conditions.

Conclusions

Higher nitrogen concentrations and slightly lower carbohydrate reserves on average were observed in all wood fractions of MP vines as compared with VSP vines in a long-term study. These observations suggest that storage and mobilization of carbohydrates and N are influenced by pruning system. N-mobilization from the wood and roots in the spring and retranslocation out of the leaves into the wood corresponded with leaf area formation and leaf area loss, respectively. In all cases these rates were

higher for MP vines than for VSP vines, suggesting a direct relationship between N-dynamics and leaf area. Continuously decreasing water potentials over years corresponded with a decrease in minimum concentrations of TNC and N in all wood fractions of both systems. For MP vines, lower water potentials may have induced earlier retranslocation of N out of leaves into the wood fraction than for spur-pruned vines. Both N and carbohydrate reserve formation and use of MP vines over several years suggest that reserves will not become a limiting factor for sustainability of MP systems under cool-climate conditions.

Literature Cited

- Araujo, F.J., and L.E. Williams. 1988. Dry matter and nitrogen partitioning and root growth of young field-grown Thompson Seedless grapevines. *Vitis* 27:21-32.
- Balasubrahmanyam, V.R., J. Eifert, and L. Diofasi. 1978. Nutrient reserves in grapevines as influenced by cropping levels. *Vitis* 17: 23-29.
- Bates, T.R., R.M. Dunst, and P. Joy. 2002. Seasonal dry matter, starch, and nutrient distribution in 'Concord' grapevine roots. *HortScience* 37:313-316.
- Boehringer Mannheim GmbH. 1989: Methods of Biochemical Analysis and Food Analysis. *Boehringer Mannheim GmbH Biochemica*, Germany.
- Campbell, J.A., and S. Strother. 1996. Seasonal variation in pH, carbohydrate and nitrogen of xylem exudates of *Vitis vinifera*. *Aust. J. Plant Physiol.* 23:115-118.
- Candolfi-Vasconcelos, M.C., M.P. Candolfi, and W. Koblet. 1994. Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissues into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in *Vitis vinifera* L. *Planta* 192:567-573.
- Carbonneau, A. 1991. Bilan de résultats d'analyse sensorielle de la qualité des vins de divers systèmes de conduite. *Riv. Vitic. Enol.* 4:335-344.
- Cheng, L.A., G. Xia, and T. Bates. 2004. Growth and fruiting of young 'Concord' grapevines in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 129:660-666.
- Clingeleffer, P.R. 1984. Production and growth of minimal pruned vines. *Vitis* 23:42-54.
- Clingeleffer, P.R. 1992. Development of management systems for low cost, high quality wine production and vigour control in cool climate Australian vineyards. *Vitic. Enol. Sci.* 48:130-134.
- Conradie, W.J. 1990. Distribution and translocation of nitrogen absorbed during late spring by two-year-old grapevines grown in sand culture. *Am. J. Enol. Vitic.* 41:241-250.
- Downton, W.J.S., and W.J.R. Grant. 1992. Photosynthetic physiology of spur pruned and minimal pruned grapevines. *Aust. J. Plant Physiol.* 19:309-316.
- Eichhorn, K.W., and D.H. Lorenz. 1977. Phänologische Entwicklungsstadien der Rebe. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 29:119-120.
- Eifert, T.J., M. Panczel, and A. Eifert 1961. Änderung des Stärke- und Zuckergehaltes der Rebe während der Ruheperiode. *Vitis* 2:257-264.
- Falcetti, M., G. Stringari, M. Bogoni, and A. Scienza. 1995. Relationships among pedo-climatic conditions, plant available water and nutritional status of grapevines. *Acta Hortic.* 383:289-298.
- Freeman, B.M., and R.E. Smart. 1976. A root observation laboratory for studies with grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 27:36-39.
- Glad, C., J.L. Regnard, Y. Querou, O. Brun, and J.F. Morot-Gaudry. 1992. Flux and chemical composition of xylem exudates from Chardonnay grapevines: Temporal evolution and effect of recut. *Am. J. Enol. Vitic.* 43:275-282.
- Gladstones, J.S. 1992. *Viticulture and Environment*. Winetitles, Adelaide.
- Hamman, R.A., I.E. Dami, T.M. Walsh, and C. Stushnoff. 1996. Seasonal carbohydrate hardness of Chardonnay and Riesling grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 47:31-36.
- Intrieri, C., S. Poni, G. Lia, and M. Gomez del Campo. 2001. Vine performance and leaf physiology of conventionally and minimally pruned Sangiovese grapevines. *Vitis* 40:123-130.
- Korkas, E., K. Schaller, O. Löhnertz, and H. Lenz. 1994. Die Dynamik, nicht-struktureller Kohlenhydrate in Reben (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) im Verlauf zweier Vegetationsperioden unter dem Einfluss einer langjährig variierten Stickstoffdüngung. Teil I: Vor und während der Austriebsphase. *Vitic. Enol. Sci.* 49:86-89.
- Kliwer, W.M., and N.K. Dokoozlian. 2005. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 56:170-181.
- Loescher, W.H., T. McCamant, and J.D. Keller. 1990. Carbohydrate reserves, translocation and storage in woody plant roots. *HortScience* 25:274-281.
- Löhnertz, O. 1988. Nährstoffelementaufnahme von Reben im Verlauf eines Vegetationszyklus. *Mitt. Klosterneuburg* 38:124-129.
- Mooney, H.A., and B.L. Gartner. 1991. Reserve economy of vines. *In The Biology of Vines*. F.E. Putz and H.A. Mooney (Eds.), pp. 161-179. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Murisier, F.M. 1996. Optimisation du rapport feuille-fruit de la vigne pour favoriser la qualité du raisin et l'accumulation des glucides de réserve. Relation entre le rendement et la chlorose. Ph.D. thesis, Ecole Polytechnique Federale de Zürich, Switzerland.
- Ollat, N., K.J. Sommer, R.M. Pool, and P.R. Clingeleffer. 1993. Quelques résultats sur la taille minimale en Australie et en France. *In GESCO Compte Rendu*, pp. 181-183. Publ. C.I.V.C. Mumm Perriet-Jouet, Reims, France.
- Rühl, E.H., and G. Alleweldt. 1990. Effect of water stress on carbohydrate accumulation in root and stem of four different grapevine varieties. *Vitic. Enol. Sci.* 45:156-159.
- Rühl, E.H., and P.R. Clingeleffer. 1993. Effect of minimal pruning and virus inoculation on the carbohydrate and nitrogen accumulation in Cabernet franc vines. *Am. J. Enol. Vitic.* 44:81-85.
- Schaller, K., O. Löhnertz, R. Geiben, and N. Breit. 1989. N-Stoffwechsel von Reben. 1. Mitteilung: N- und Arginindynamik im Holzkörper der Sorte Müller-Thurgau im Verlaufe einer Vegetationsperiode. *Vitic. Enol. Sci.* 44:91-101.
- Schmid, J., and H.R. Schultz. 2000. Influence of two training systems and irrigation on water consumption of grapevines in the field. *Acta Hortic.* 537:587-595.
- Scholefield, P.B., T.P. Neales, and P. May. 1978. Carbon balance of the Sultana vine (*Vitis vinifera* L.) and the effects of autumn defoliation by harvest pruning. *Aust. J. Plant Physiol.* 5:561-570.

- Schultz, H.R. 1992. An empirical model for the simulation of leaf appearance and leaf area development of primary shoots of several grapevine (*Vitis vinifera*) canopy-systems. *Sci. Hortic.* 52:179-200.
- Schultz, H.R., S. Kraml, U. Werwitzke, T. Zimmer, and J. Schmid. 2001. Adaptation and utilization of minimal pruning systems for quality production in cool climates. *In* Proceedings of the ASEV 50th Anniversary Annual Meeting, Seattle, WA, June 2000. J.M. Rantz (Ed.), pp. 185-190. ASEV, Davis, CA.
- Sommer, K.J. 1995. Mechanisierung des Rebschnittes in Australien. *In* Proceedings for the International ATW Symposium: Technik im Weinbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. KTBL, Darmstadt, Germany.
- Swanson, C.A., and E.D.H. El-Shishiny. 1958. Translocation of sugars in the Concord grape. *Plant Physiol.* 33:33-37.
- Williams, L.E. 1996. Grape. *In* Photoassimilate Distribution in Plants and Crops: Source-Sink Relationships. E. Zamski and A.A. Schaffer (Eds.), pp. 851-883. Marcel Dekker, New York.
- Winkler, A.J., and W.O. Williams. 1945. Starch and sugars of *Vitis vinifera*. *Plant Physiol.* 20:412-432.
- Yang, J., J. Zhang, Z. Wang, Q. Zhu, and L. Liu. 2001. Water deficit-induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agron. J.* 93:196-206.
- Zapata, C., E. Deléens, S. Chaillou, and C. Magné. 2004. Partitioning and mobilization of starch and N reserves in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. Plant Physiol.* 161:1031-1040.

Light interception, gas exchange and carbon balance of different canopy zones of minimally and cane-pruned field-grown Riesling grapevines

K. M. WEYAND and H. R. SCHULTZ

Institut für Weinbau und Rebenzüchtung, Fachgebiet Weinbau, Forschungsanstalt Geisenheim, Geisenheim, Germany

Summary

Leaf area development, pre-dawn leaf water potential, spatial and temporal patterns of light interception and photosynthesis (A) of minimal pruned (MP) and cane-pruned vertical shoot positioned (VSP) field-grown Riesling grapevines were monitored in 2002 and 2003. In order to quantify the contribution of different canopy segments to whole vine carbon gain, diurnal single leaf gas exchange measurements were conducted several times during the season in 8 different canopy segments keeping leaves in their natural position. Carbon losses due to nocturnal respiration (DR) were estimated with a model describing the dependence of DR on temperature. MP vines had about 17 times more but less vigorous shoots with smaller leaves. Leaf area (LA) development was faster for MP than for VSP vines and LA was 2.5–3-fold higher for most of the season. Spatial and temporal patterns of average daily light interception were related to LA development and canopy dimensions for both MP and VSP vines during the first part of the season, but increased independent of LA until mid-October and more so for VSP than MP. Diurnal gas exchange measurements showed differences between canopy segments, measuring dates and systems. Differences between segments were related to light interception in the absence of water deficit, high leaf temperature and vapour pressure deficit. The higher light interception of MP vines caused pre-dawn water potential to decrease faster and to remain at lower levels during most of the season. This limited A more severely for leaves of MP vines in canopy segments which were well exposed to light. The estimated seasonal carbon gain per canopy segment was highest in the apical canopy zones for both canopy systems but carbon assimilation was higher for MP than for VSP vines in all segments with the exception of the interior canopy. Respiratory losses by leaves depended on night temperature and time during the season but generally varied between 3 and 7 % of the amount of carbon gained during the day. MP vines had slightly higher relative respiration losses than VSP vines. On a whole-plant basis, carbon gain of MP vines was between 5.7 (beginning of the season) and 2.2 times (end of season) higher than for VSP vines.

Key words: minimal pruning (MP), cane-pruned vertically shoot positioned (VSP), light interception, gas exchange, carbon gain.

Introduction

Since the early investigations on the “capacity” of unpruned *versus* pruned vines (WINKLER 1954, 1958), and the adoption of minimal- and non-pruning systems for the commercial production of wine grapes mainly in warm, irrigated grape districts of Australia (CLINGELEFFER 1983, CLINGELEFFER and POSSINGHAM 1987, SOMMER and CLINGELEFFER 1993, CLINGELEFFER *et al.* 2005), many aspects of these systems have been studied with different varieties and in locations varying in climate and soil. Investigations in cool climate grape production areas with sometimes late ripening varieties and with soils or rootstocks inducing high vigor have generally shown, that MP systems can be used, if supplementary crop size control is ensured (CLINGELEFFER 1993, SOMMER *et al.* 1993, POOL *et al.* 1993, POSSINGHAM 1996, FENDINGER *et al.* 1996). However, depending on the variety, mechanical thinning can be very problematic and alternative thinning methods have not yet been sufficiently tested (SCHULTZ 2002, WEYAND and SCHULTZ 2005).

Apparent contradictory results with respect to yield and quality in European trials (negative tendency: CARBONNEAU 1991, OLLAT *et al.* 1993, positive tendency: MARTÍNEZ DE TODA and SANCHA 1998, SCHULTZ *et al.* 2000, INTRIERI *et al.* 2001), where thinning was not applied, may be related to differences in the growth habit of the varieties tested and/or the growing conditions causing differences in light interception and consequently whole-vine carbon balance. There have been a few studies dealing with the subject of light interception and estimated or directly measured carbon balance of MP as compared to conventional production systems (DOWNTON and GRANT 1992, LAKSO *et al.* 1996, PONI *et al.* 2000, INTRIERI *et al.* 2001, LAKSO and EISENSTAT 2005, LAKSO and PONI 2005). Somewhat surprising is that with the exception of the study by INTRIERI *et al.* (2001), maximum leaf area index or total leaf area per vine were similar for MP and conventionally pruned vines in all these studies. Thus, the main differences in carbon balance between these systems were attributed to early season leaf area development and canopy filling which is faster for MP as compared to pruned vines due to the larger amount of buds retained (DOWNTON and GRANT 1992, LAKSO *et al.* 1996, PONI *et al.* 2000, LAKSO and EISENSTAT 2005).

However, many studies in warm but also in cool climates, including Germany (SCHULTZ *et al.* 2000), with a wide array of varieties show, that MP systems often develop substantially increased maximum leaf areas (CLINGELEFFER and POSSINGHAM 1987, CLINGELEFFER 1989, SOMMER *et al.* 1993, SCHMID and SCHULTZ 2000, INTRIERI *et al.* 2001).

This may not improve light interception and subsequent whole-vine carbon balance if most of this leaf area is shaded (INTRIERI *et al.* 2001); but the degree of shading is a function of canopy structure which also depends on growth conditions and variety.

Apart from potential differences in general light interception and carbon balance of the whole-vine canopy, differences may also exist between different canopy zones (ESCALONA *et al.* 2003) due to the large spatial and temporal variations in the within-canopy radiation regime. Different segments contribute differently to the carbon balance of a vine and to identify those of low “productivity” can be useful in improving canopy structure and thus over-all performance (SHAULIS *et al.* 1966). Under a given set of conditions and saturating light, the outer leaf layers of fully developed canopies of MP vines have similar gas exchange rates as conventionally pruned vines (DOWNTON and GRANT 1992, SOMMER and CLINGELEFFER 1993, SOMMER *et al.* 1993, LAKSO *et al.* 1996, PONI *et al.* 2000, INTRIERI *et al.* 2001). However, since the structure of the canopy can modify leaf position and leaf environment, carbon gain in a natural situation in the field may be very different (ROSS 1981). Additionally, environmental constraints such as low rainfall in combination with high yields and large leaf areas and thus increased water consumption (SCHMID and SCHULTZ 2000) may also affect total carbon gain of MP vines.

The objectives of the present study were: (1) to quantify light interception and its spatial variation for an MP and a conventional pruned canopy system throughout the season in a cool climate region; (2) to determine the contribution of different canopy segments to whole-vine photosynthesis under non-irrigated conditions; (3) to estimate carbon fixation and respiratory losses and calculate a seasonal carbon balance of different canopy segments.

Material and Methods

Experimental design: Field experiments were conducted with *Vitis vinifera* L. cv. Riesling (clone: Gm 198/ rootstock: 5C, planted in spring 1977) in 2002 and 2003 in Geisenheim (50° N, 8° E), Germany. Compared to other locations with cool climates where MP systems have been tested, such as Coonawarra (Australia), this site has about 300 heat units (summation of degree days above 10 °C with a 19 °C cut-off) less over the growing season (1045 as compared to 1337) with an annual precipitation of 534 mm (as compared to 638 mm for Coonawarra) (GLADSTONES 1992). The experimental vineyard had a South to South-West exposure and a loam to clay-loam soil. We compared a vertically shoot positioned (VSP) pruning system with a minimal pruning treatment (MP). The VSP was trained as a Sylvoz-system with a cordon at a height of 1.1 m bearing 3-4 short canes (5-6 buds each) which were tied to a wire 0.6 m above the ground.

The minimal pruned plots were converted from the Sylvoz-trellis during the winter 1995-1996 by wrapping all one-year-old canes around the highest catch wire (1.8 m above ground). Every two to three years, a light mechanical winter pruning was applied about 0.5 m above the soil

surface to prevent shoots from reaching the ground. Both, the MP- and VSP-system were arranged in three replicated randomized blocks of 3-5 rows each, in a row by vine spacing of 2.8 m x 0.85 m. The VSP was pruned to an average of 5.9 buds per m² (14.2 buds per vine) and on the MP system, 71.6 buds per m² (171.8 buds per vine) were retained (Table).

Table

Average number of buds, shoots, percent bud break and average yield per unit surface area and per vine during the seasons of 2002 and 2003. Data are means $\pm$ SD. Bud and shoot number were determined on 10 vines for VSP and 4 planting distances for the MP system

2002 - 2003	VSP	MP
Buds (number m ⁻²)	5.9 $\pm$ 1.2	71.6 $\pm$ 13.7
Buds (number vine ⁻¹)	14.2 $\pm$ 2.9	171.8 $\pm$ 32.9
Shoots (number m ⁻²)	5.6 $\pm$ 1.1	57.0 $\pm$ 10.9
Shoots (number vine ⁻¹)	13.4 $\pm$ 2.6	136.8 $\pm$ 26.2
Bud break (%)	95.62 $\pm$ 4.6	78.81 $\pm$ 3.8
Yield (t ha ⁻¹)	11.7 $\pm$ 0.2	26.4 $\pm$ 0.2
Yield (kg vine ⁻¹)	2.8 $\pm$ 0.05	6.3 $\pm$ 0.05

Leaf gas exchange measurements: Measurements of photosynthetic rate (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), stomatal conductance (g , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), photosynthetic photon flux density (PPFD, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and leaf temperature (T_{leaf} , °C) were conducted with a portable photosynthesis system (LCA4, ADC BioScientific, Hoddeston, UK) on leaves positioned in 8 different canopy zones according to the segmentation profile proposed by LEBON and SCHULTZ (1996; Fig. 1). Irrespective of absolute width and height, canopies were divided into an apical, central, and basal part on the two vertical canopy sides and one segment on top of the canopy and in the canopy interior (Fig. 1). Segments 1, 2, and 3 were facing South-East, and 6, 7, and 8 were facing North-West (Fig. 1). For MP and VSP canopies, height and width were on average about 2.1 m and 1.2 m, and 1.35 m and 0.45 m, respectively (Fig. 1). The top segment was about 0.15 m in height for both systems.

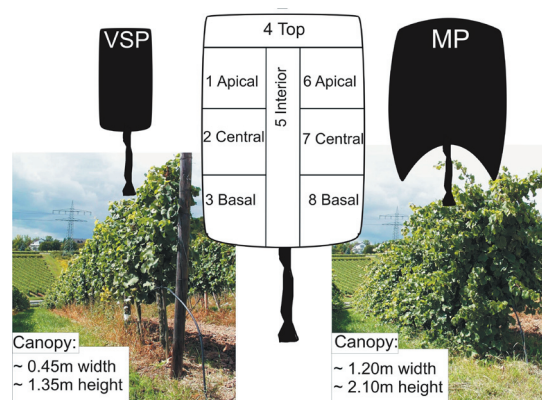


Fig. 1: Schematic presentation of the canopy segmentation profile used for measuring photosynthesis and estimating respiration and carbon balance. VSP: vertical shoot positioning, MP: minimal pruning.

Segments on the canopy exterior were about 0.65 m in height and 0.4 m in width for the MP system and 0.40 m in height and 0.15 m in width for the VSP system, the rest was defined as canopy interior (segment 5). The measurements were conducted on 3–6 randomly selected leaves per canopy zone in their natural position (azimuth and inclination angle) on 24 plants per treatment distributed over all field replicates.

Measurements were conducted throughout mostly clear and sunny days during different developmental stages designated by the BBCH code of EICHORN and LORENZ (1977) (28th May 2002 (BBCH 17), 2nd June 2003 (BBCH 57), 29th July 2002 (BBCH 77), 15th August 2003 (BBCH 81), 24th September 2002 (BBCH 85), 13th October 2003 (BBCH 89)). Since the canopy was still incomplete for the VSP system on the 28th May, only basal and central segments could be measured.

Light interception: Total canopy light interception was measured on 4 dates in 2002 (8th May, 18th June, 15th August, 1st October) with a ceptometer (AccuPAR, Decagon Devices, Pullman, Washington, USA). The ceptometer, equipped with 80 single cosine-corrected sensors at 1 cm spacing, was moved on a below-vine canopy grid covering the entire distance across the row (2.8 m, 1.4 m on each side of the vines) and 1.25 m along the row. Two grids per system were installed in the vineyard. Across the row, PPFD was measured and automatically recorded at 1 cm intervals. Along the row, measurements were conducted every 20.8 cm, giving 3920 data points per measurement. Measurement time per grid was approximately 10 min, and at each repositioning of the ceptometer (28 times per grid), total incident PPFD above the canopy (100 %) was measured with an external, horizontally positioned, sensor (Li-190SZ, LiCOR, Lincoln, Nebraska, USA). Total light interception was calculated as 100 minus the fractional light transmission to the vineyard ground. Light readings were recorded 6 (15th August) to 9 times $\cdot$ d⁻¹ (18th June) giving a total of 23,520 to 35,280 data points $\cdot$ d⁻¹ and system.

Leaf area determination: Leaf area (LA) development was determined on 4 dates in 2002 and 2003 for both systems. For the VSP, 4 plants per date were chosen at random, while for MP, 4 strips of a canopy length of 0.85 m each (= planting distance) were sampled because it was impossible to separate individual vines in this treatment. In 2002 all leaves were stripped off the plants and individual leaf length was measured and correlated to individual LA (SCHULTZ 1992). Measurements were simplified in 2003. For each plant or planting distance sampled, the leaf length of 10 leaves was measured for the VSP (total $n = 40$ samplings date⁻¹) and 60 for the MP treatment (total $n = 240$ samplings date⁻¹). Leaves were then dried at 65 °C and individual leaf dry weight was determined. Individual leaf area was then plotted as a function of leaf weight which gave linear regression coefficients, R^2 , between 0.69 and 0.86 depending on the sampling date. The remaining populations of leaves on the plants were harvested, split in 4 groups per plant or planting distance and dried. Established regressions were extrapolated to these dry weight values to calculate LA. This method somewhat overestimates total LA at the beginning of the season when leaves

are growing but results in general agreed well with LA's determined during the previous year for the same phenological stages.

Leaf area allocated to different segments in the canopy was calculated from the results of a detailed LA distribution study conducted in the same vineyard with the same canopy systems (ZIMMER 1998). In that study, the canopy was segmented into cylinders of 0.15 x 0.15 x 0.1 m (width by length by height) using a cage-like structure as previously described (SCHULTZ 1995). For each segment, all leaves were removed, the length of the leaf lamina measured and LA calculated according to SCHULTZ (1992). From these data we calculated a percent LA distribution for our size segments. We assumed this distribution pattern to be stable for MP vines throughout the season because of the lack of directed growth (Fig. 1, ZIMMER 1998). For VSP vines, where canopy geometry is maintained by frequent hedging, this distribution was assumed to be stable after bloom. For the one measurement date of gas exchange before bloom (28th May), percent LA distribution was estimated from the results of a shoot growth model, which simulates single leaf sizes and shoot length (SCHULTZ 1992) assuming only variations with height but not across the canopy width.

Carbon gain, dark respiration, carbon balance: Carbon fixation per segment was estimated by fitting polynomial regressions to the diurnal patterns of measured A per canopy zone and integrating A over the day. A was then multiplied by the estimated LA of that particular zone to get an approximation of the contribution of a particular zone to whole plant assimilation. Four LA measurement dates were close to days where gas exchange was measured (within 2–9 d) but two differed by 3–4 weeks. For these days, we estimated LA by extrapolating from the previous LA data point to the one following closest to the date of measurement of gas exchange using a 3rd order polynomial regression.

In order to get an estimation of the carbon balance of a canopy zone over the course of a 24 h day/night cycle, leaf dark respiration (DR) over the night period was calculated with an empirical respiration model (SCHULTZ 1991). The model uses a simple exponential relationship of DR to temperature and was parameterized for 6 phenological phases based on a large data set covering the entire season (SCHULTZ 1991).

$$DR = a e^{(kT)} \quad (1)$$

where a = base coefficient (= DR if $T = 0$), k = temperature coefficient of DR, and T = leaf temperature. For the tested day/night periods, we simply assumed that DR occurred during the interval between sunset and sunrise and that leaf temperature would be equal to air temperature during that period for all segments. Nocturnal hourly temperature data were obtained from a station of the National German Weather Service (Deutscher Wetterdienst, DWD), Geisenheim, located about 1.5 km away from the experimental vineyard. Integrated carbon losses were multiplied with LA per segment and subtracted from diurnal carbon gain to yield an estimation of carbon balance per canopy segment or per vine.

Water potential measurements: Pre-dawn leaf water potential (Ψ_{pd}) was measured with a

Scholander pressure chamber (Soil Moisture Equipment Corporation, Santa Barbara, CA, USA) (SCHOLANDER *et al.* 1964) several times during the 2002 and 2003 seasons. Six to eight adult leaves were sampled across all segments of both systems.

Statistics: Analyses of variance (ANOVA, Holm-Sidak-method) were calculated with SigmaStat 3.1 (Systat Software Inc., Point Richmond, CA, USA).

Results and Discussion

Vegetative growth: In spring, leaf area development was more rapid for MP than for VSP vines due to the much larger shoot number despite reduced bud break (Table) confirming many previous studies (e.g. CLINGELEFFER 1984, DOWNTON and GRANT 1992, SOMMER *et al.* 1993, PONI *et al.* 2000) (Fig. 2). In 2002 near veraison maximum leaf area was $15.2 \text{ m}^2 \text{ vine}^{-1}$ for the MP and $5.2 \text{ m}^2 \text{ vine}^{-1}$ for the VSP system. This degree of vigour of MP vines is comparable to data from other studies in cool climates (SOMMER 1995, LAKSO *et al.* 1996) but the differences in LA with respect to the conventional pruned systems reported are often much smaller due to reduced or absent shoot trimming (LAKSO *et al.* 1996, INTRIERI *et al.* 2001). MP vines retained about a 3-fold higher LA throughout most of the season in both years with a slight decline in this ratio during September and October due to some leaf losses (Fig. 2). Accelerated senescence of leaves from the canopy interior of MP vines has been reported previously and is thought to be related to a larger degree of water deficit experienced as a

result of the larger leaf area (DOWNTON and GRANT 1992, SOMMER *et al.* 1993, SOMMER 1995, MARTÍNEZ DE TODA and SANCHÁ 1998, SCHMID and SCHULTZ 2000). This may have been also the cause of pre-mature leaf shedding in the present study, since MP vines had generally lower pre-dawn water potentials throughout the two seasons (Fig. 3) and earlier and larger losses in LA in 2003 were correlated with earlier and stronger levels of water deficit (Figs 2 and 3). In studies where water stress was absent, leaf longevity of MP vines was not negatively affected (LAKSO *et al.* 1996, PONI *et al.* 2000, INTRIERI *et al.* 2001).

Light interception: The analysis of light interception from the measurements on the grid systems showed that MP vines exhibited very different spatial and temporal light interception patterns as compared to VSP vines (Fig. 4). The spatial distribution and temporal development of daily average light interception per grid point reflected the more rapid leaf area development and the larger canopy dimensions of MP as compared to VSP vines between shortly after bud break (Fig. 4 A), bloom (Fig. 4 B) and veraison (Fig. 4 C). Thereafter, light interception continued to increase for both systems without further increases in leaf area (compare Figs 2 and 4 C, D). MP and VSP vines reached a maximum average light interception across all grid points of 76 % and 63 %, respectively, at the end of the season (Fig. 4 D). INTRIERI *et al.* (2001) in a study with Sangiovese found a correlation between leaf area development and average light interception for a conventional pruning system up to about $18 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$ row length (= maximum leaf area attained) and for MP vines up to about $14 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$ row length attained already 35 d after bud break (maximum leaf

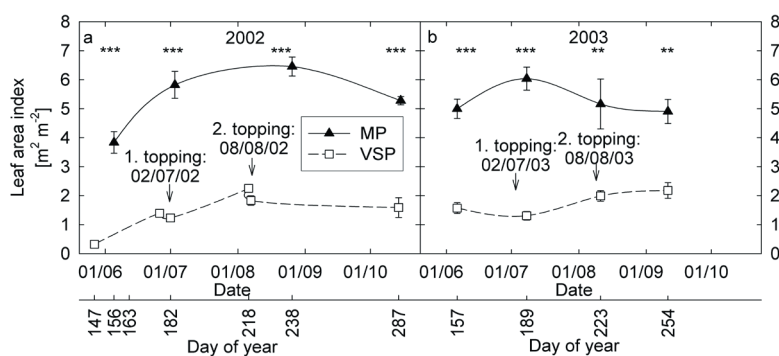


Fig. 2: Leaf area indices of MP and VSP vines during the 2002 (a) and 2003 (b) seasons. Data are means $\pm$ SE with $n = 3 - 4$; *: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$.

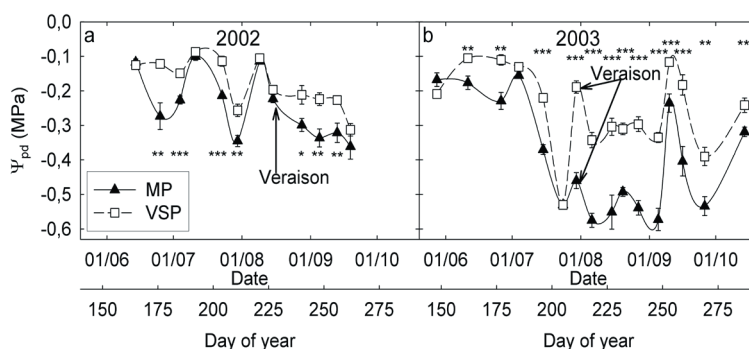


Fig. 3: Pre-dawn leaf water potential during the growing seasons in 2002 (a) and 2003 (b) for MP and VSP vines. Data represent the mean of 6 - 8 leaf samples $\pm$ SE; *: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$.

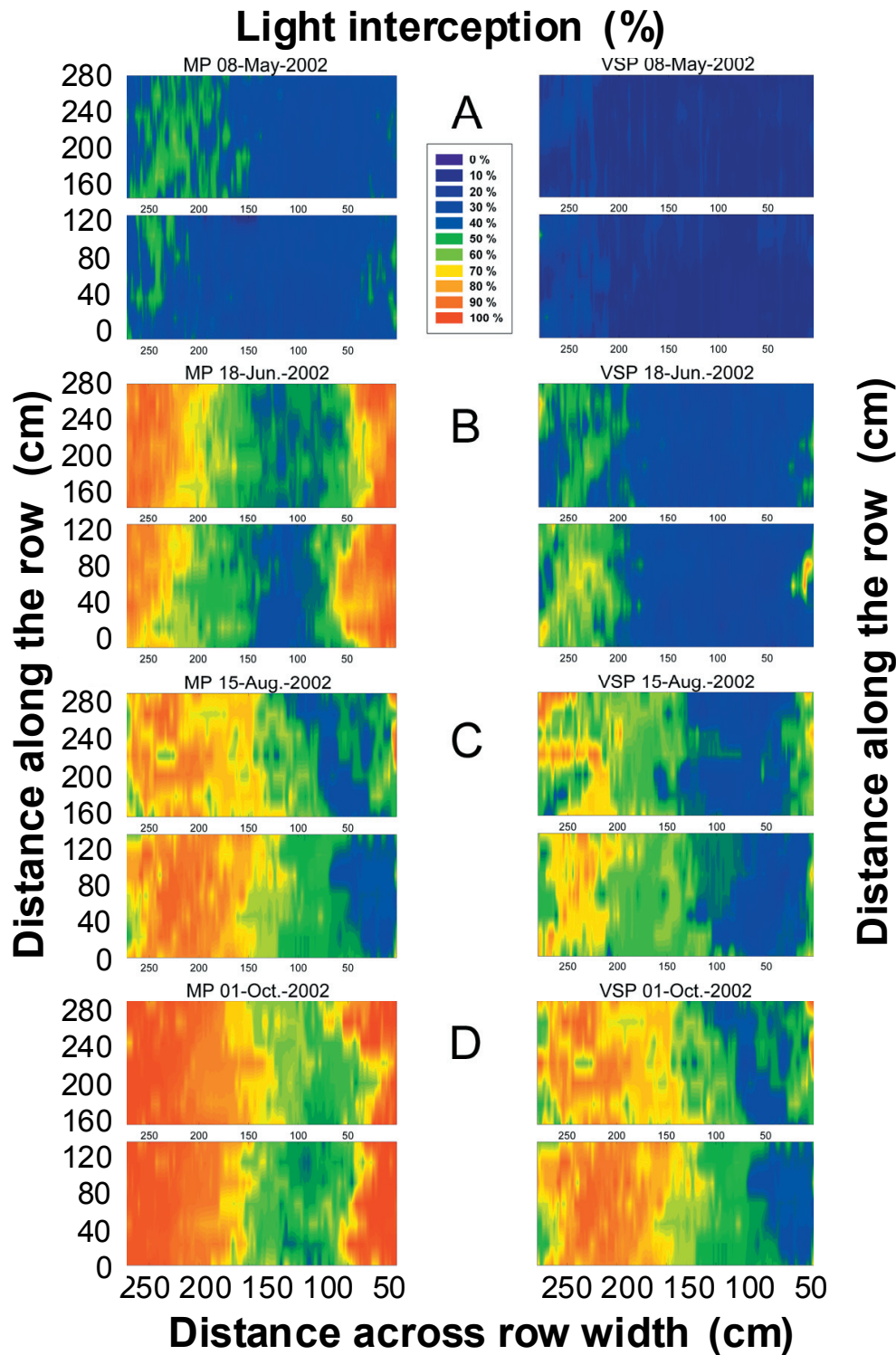


Fig. 4: Spatial and temporal variation in average daily light interception profiles across 2 grid systems per canopy type each covering the entire row width and 125 cm distance along the row in 2002 (left panel MP, right panel VSP). Data are averages of light readings recorded 6 (15th August) to 9 times per day (18th June) giving a total of 23520 to 35280 data points per day and system.

area = $29 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$). They suggested, that the difference between the canopy systems was related to the more open canopy structure of the conventional system with a maximum light interception near 78 %, whereas leaf areas in access of $14 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$ for the MP vines only contributed to mutual shading and light interception was only 65 % (INTRIERI *et al.* 2001). In the present study with less vigorous Riesling vines, maximum leaf areas of VSP and MP vines were reached much later during the season and were equiv-

alent to about 5.6 and $16.8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$ row length, respectively, suggesting that for VSP, LA was insufficient to maximize light interception and for MP, that canopy structure must have been superior to that of the Sangiovese study.

There was a distinct seasonal shift in the frequency distribution of light interception classes for both canopy systems (Fig. 5). At all times during the season, MP canopies had a larger proportion of higher light interception classes than VSP canopies (Figs 4 and 5). Apart from the

differences in canopy dimensions, this may also be related to higher local leaf area density values (leaf area per unit canopy volume) (ZIMMER 1998, SCHMID and SCHULTZ 2000) and/or differences in the distribution of leaf inclination angles and azimuth (MABROUK *et al.* 1997 a). Recently LOUARN (2005) has shown large differences with respect to the latter two parameters between a VSP type canopy system and one with free hanging shoots.

As the season progressed and whole-canopy light interception continued to increase for both systems despite unchanged or decreased leaf areas, the differences between the two systems became smaller (Figs 4 and 5). This indicated an increase in the radiation interception efficiency

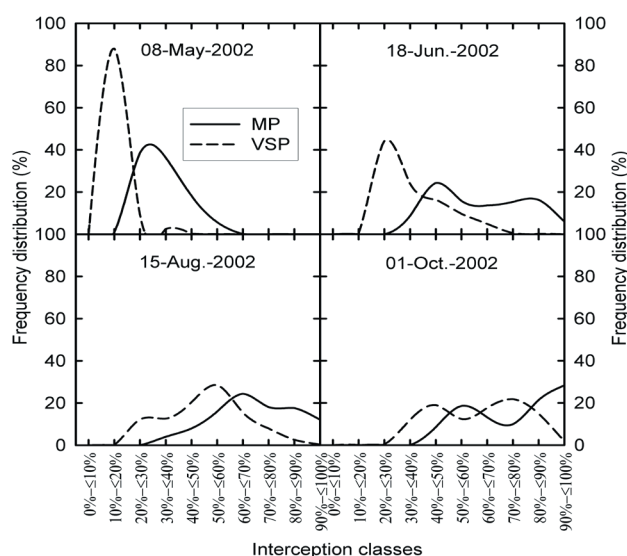


Fig. 5: Frequency distribution of daily light interception classes for 4 d throughout the 2002 season for MP and VSP canopies. The presentation is based on data shown in Fig. 4.

caused by decreasing solar angles at a high latitude location (50° North in the present case) (VARLET-GRANCHER *et al.* 1989), which was more pronounced for the thin vertical VSP canopies due to a different angle between sun azimuth and canopy surface (MABROUK *et al.* 1997 b). Since light interception has been correlated with whole-canopy CO_2 exchange rates (PONI *et al.* 2003) this characteristic may be important for the achievement of full grape maturity in Northern temperate viticultural areas.

Canopy light interception has also been related to whole vine water consumption (RIOU *et al.* 1994, WILLIAMS and AYARS 2005) and can explain the stronger decrease in Ψ_{pd} for MP as compared to VSP vines during the season. The decrease in the difference in light interception between MP and VSP vines during the course of the season may therefore also explain why differences in whole plant water use between both systems also diminish (SCHMID and SCHULTZ 2000).

Gas exchange: Former studies on the gas exchange of MP as compared to conventional pruned systems which were conducted on representative, well exposed mature leaves showed no or only small differences in photosynthetic rate (DOWNTON and GRANT 1992, SOMMER and CLINGELEFFER 1993, SOMMER *et al.* 1993, INTRIERI *et al.* 2001). In some cases, there were reports about higher A

values very early and very late during the season for leaves on MP vines (DOWNTON and GRANT 1992, INTRIERI *et al.* 2001) which may influence the CO_2 exchange rate of the entire canopy during these periods (LAKSO *et al.* 1996, PONI *et al.* 2000). In order to better characterize the effect of local differences in leaf age and sun exposure caused by differences in the canopy structure on leaf gas exchange, we measured A in the natural leaf position in different canopy segments. This system, originally proposed by LEBON and SCHULTZ (1996), has been used to quantify differences in light interception related to the canopy zone (ZUFFEREY and MURISIER 1997) and to estimate the contribution of different canopy zones to whole plant photosynthesis during drought (ESCALONA *et al.* 2003).

We found important diurnal variations in A among canopy locations and observed a clear seasonal trend in the relative contribution of different canopy zones to whole-vine photosynthesis (Figs 6-9). The top segment of both canopy systems received the highest light intensities throughout the season (up to $50 \text{ mol PPFD d}^{-1}$). Due to the South-West exposure of the vineyard, more light was intercepted by the South-East (S-E) oriented canopy walls in the morning until mid-afternoon (Figs. 6-9). There were small differences in the amount of PPFD received by the different canopy segments on this side throughout the season, with the apical and central parts being exposed to higher PPFD values longer during the day (e.g. Figs 6 and 7). Despite the larger variation in our data due to varying leaf position, this is similar to what models on radiation interception would predict (RIOU *et al.* 1989, ZUFFEREY and MURISIER 1997). The North-West (N-W) oriented canopy side received full PPFD only from mid-afternoon on and there were strong

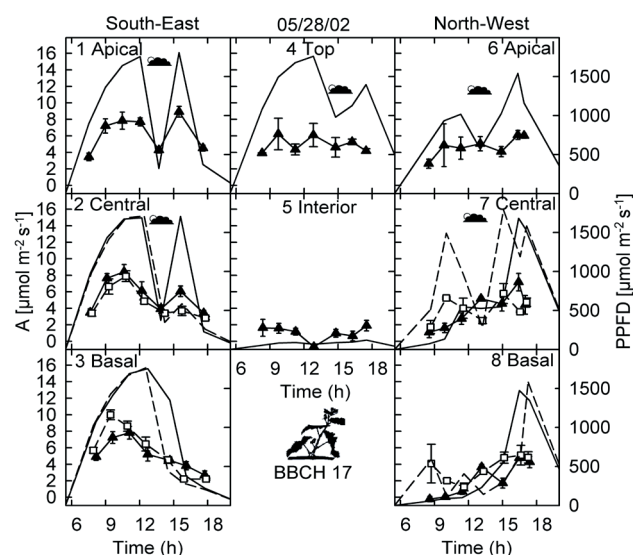


Fig. 6: Net-photosynthesis (A) and photosynthetic photon flux density (PPFD) of canopy segments of MP and VSP vines on 28 May 2002. Data represent means of 3 - 6 leaves $\pm$ SE. Measurements were conducted in the natural position of the leaves. Closed symbols ($\blacktriangle$) and continuous lines are for MP vines, open symbols ($\square$) and dashed lines are for VSP. Due to the early measuring date, there were no leaves present in segments 1, 4, 5 and 6 for the VSP vines. The phenological phase is presented in picture code (BBCH) according to the developmental scale of EICHORN and LORENZ (1977).

differences between canopy segments (Figs 6-9). During the course of the season, PPFD received by the central and basal canopy zones decreased progressively, which also reduced A in these segments (Figs 6-9). In general, the top and apical segments on both canopy sides had the highest diurnal values of A confirming previous studies with this segmentation system (LEBON and SCHULTZ 1996, ESCALONA *et al.* 2003). Early in the season, these segments only had leaves in the MP canopies (Fig. 6). A responded to PPFD in all segments at the beginning and at the end of the season (end of May, Fig. 6, mid October, Fig. 9). This response was masked by water deficit, high temperatures and high vapour pressure deficits influencing A for mid-season measurement dates (end of July, Fig. 7, mid August, Fig. 8) for all canopy segments except those receiving low light during most of the day (central and basal zones on the N-W side and interior zone). For the days in question, Ψ_{pd} values were -0.26 MPa and -0.3 MPa for the VSP system and -0.35 MPa and -0.55 MPa for the MP system (see also Fig. 3). Also, leaves of MP as compared to VSP vines generally show lower diurnal Ψ values even at similar soil water status due to hydraulic constraints in the water transport system (GRUBER and SCHULTZ 2005). These differences can explain the lower photosynthetic rate of the MP leaves as compared to VSP leaves on the top and S-E exposed canopy segments, since stomatal conductance, g , (data not shown) responds to leaf water status and limits A (ESCALONA *et al.* 1999). However, at the lower Ψ_{pd} values, direct effects on photosynthetic quantum efficiency (DÜRING 1998, FLEXAS *et al.* 1998) and electron transport rate can not be excluded (DÜRING 1998, FLEXAS *et al.* 2002). Additionally, for measurements on July 29th (Fig. 7), leaf temperatures at mid day exceeded 40 °C in these same segments (data not shown), which, even in the absence of water deficit can substantially reduce maximum Rubisco activity and electron transport rates in grape (SCHULTZ 2003). The stronger relative reduction in A in high light-exposed canopy sections as compared to low light segments, which has also been observed in a water stress study with different varieties in Spain (ESCALONA *et al.* 2003), is related to a stronger limitation of light-saturated as compared to light-limited photosynthesis by water deficit (ESCALONA *et al.* 1999). This is also reflected by the fact, that leaves located in the canopy interior showed no response to changes in environmental factors and had only very low photosynthetic rates (Figs 6-9).

In the absence of environmental constraints, A of MP and VSP leaves was similar in all canopy sections (Figs 6 and 9) confirming previous results (DOWNTON and GRANT 1992, SOMMER and CLINGELEFFER 1993, SOMMER *et al.* 1993, INTRIERI *et al.* 2001). MP leaves retained comparable A values to VSP leaves in the apical canopy segments until mid-October (Fig. 9), despite being much older (they are the basal leaves on the shoot) than those in the same segment of the upright growing VSP canopies (they are the youngest on the shoot). This seems to support some data concluding that leaves in MP systems have superior longevity than leaves on conventional pruned vines (DOWNTON and GRANT 1992, INTRIERI *et al.* 2001). Despite yield increases of MP vines in our study of 225 % as compared to VSP

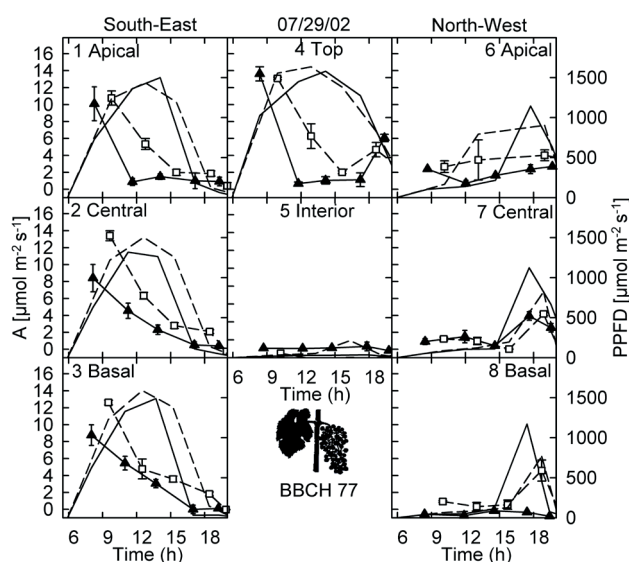


Fig. 7: Net-photosynthesis (A) and photosynthetic photon flux density (PPFD) of canopy segments of MP and VSP vines on 29 July 2002. Data represent means of 3 - 6 leaves $\pm$ SE. Closed symbols (▲) and continuous lines are for MP vines, open symbols (□) and dashed lines are for VSP. For explanation of picture code see Fig. 6.

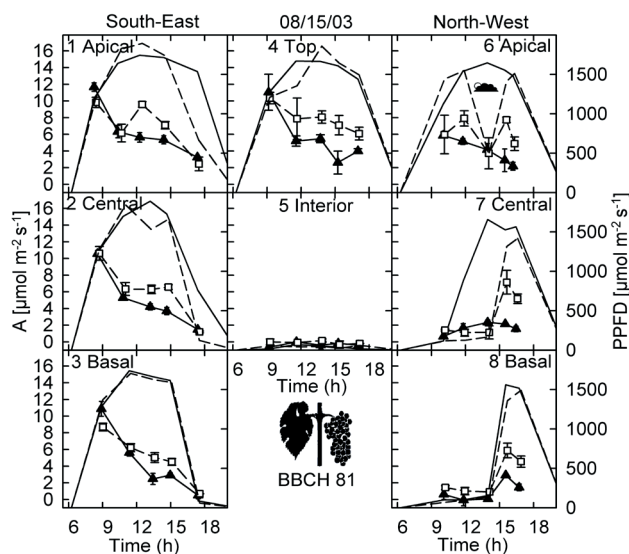


Fig. 8: Net-photosynthesis (A) and photosynthetic photon flux density (PPFD) of canopy segments of MP and VSP vines on 15 August 2003. Data represent means of 3-6 leaves $\pm$ SE. Closed symbols (▲) and continuous lines are for MP vines, open symbols (□) and dashed lines are for VSP. For further details see Fig. 6.

vines (Table), a stimulating effect on photosynthesis due to the increased sink size (DOWNTON *et al.* 1987) was probably small since an increase in LA paralleled the increase in yield.

Carbon budget: In order to evaluate the balance between daily CO_2 uptake and nocturnal CO_2 release for the two canopy systems and different canopy positions, the measured values of A were integrated over the light period for all canopy segments and 6 measurement days (only 4 are shown in Figs 6-9). Since night respiration was not measured on the same days, we used a model to estimate DR based on nocturnal data of air temperature (SCHULTZ

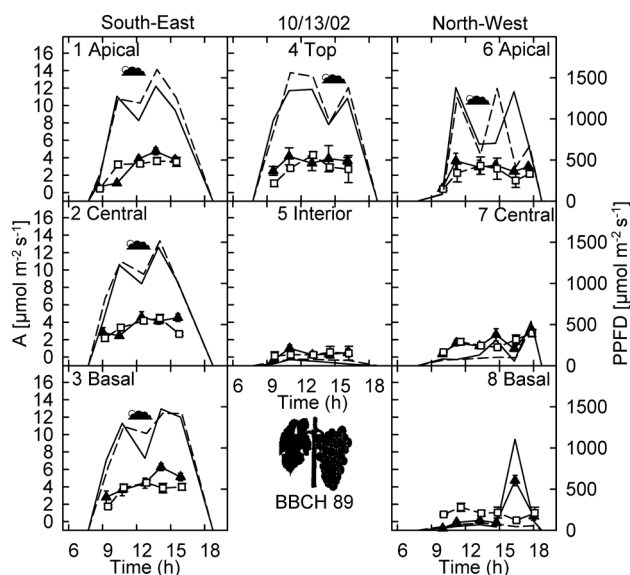


Fig. 9: Net-photosynthesis (A) and photosynthetic photon flux density (PPFD) of canopy segments of MP and VSP vines on 13 October 2003. Data represent means of 3 - 6 leaves $\pm$ SE. The picture code represents the phenological stage. Closed symbols ($\blacktriangle$) and continuous lines are for MP vines, open symbols ($\square$) and dashed lines are for VSP. For further details see Fig. 6.

1991). The model has been parameterized separately for different phenological stages (*i.e.* changes in the temperature response factor, Q_{10} , SCHULTZ 1991). We assumed, that temperature distribution was equal within the canopy. Fig. 10 shows the estimated dark respiration rate per vine for the 6 days/nights in question, where calculated DR values were multiplied with the total vine LA. A few values from respiration measurements on MP and VSP vines outside the 2002 and 2003 seasons were available and added in Fig. 10 to show, that the estimated values seem realistic. Our analysis was based on the assumption, that there were no specific canopy system-related differences in DR. PONI *et al.* (2000) reported similar DR rates of MP and VSP vines in a whole canopy study, but LAKSO *et al.* (1996) found that DR rates of MP vines were increased early in the season as a response to the accelerated canopy development. An additional source of error in the estimation of DR may be the response to water deficit which is not included in the model. AL-HAZMI *et al.* (1996) found a small decrease in DR of potted Cabernet Sauvignon vines during water stress, suggesting that there may have been an effect which would influence the calculations of total vine carbon budget. However, depending on plant type and size, DR may also increase as a response to water deficit (FLEXAS *et al.* 2005).

Carbon gain estimations per canopy segment ((diurnal integrated A – nocturnal integrated DR) multiplied by (LA per segment)) showed that for both canopy systems, the top segment contributed the most to the whole-vine carbon budget throughout the season (maximum of 9.2 g C segment⁻¹ d⁻¹ for MP and 4 g C segment⁻¹ d⁻¹ for VSP) (Fig. 11). With the exception of the canopy interior, total acquired C was always higher for MP as compared to VSP vines in all segments, reflecting the differences in LA. For VSP vines

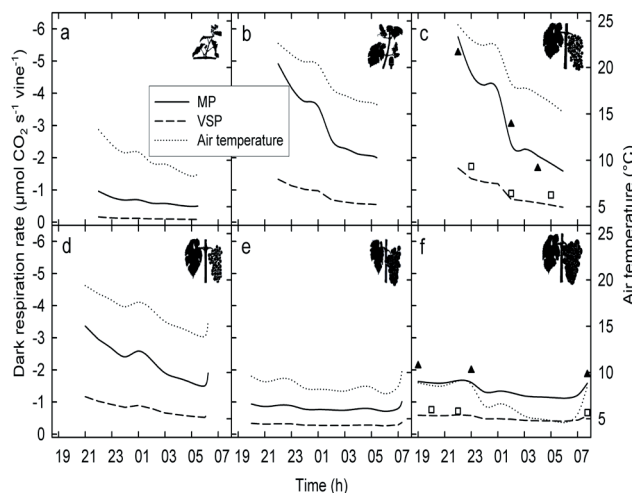


Fig. 10: Estimated night respiration rates for those 6 days/nights for which photosynthesis was measured (a = May 28, 2002; b = June 2, 2003; c = July 29, 2002; d = August 15, 2003; e = September 24, 2002; f = October 13, 2003). Dotted lines represent air temperature values. Continuous and dashed lines are simulated dark respiration values for MP and VSP vines, respectively, which were multiplied by the average leaf area per vine at each phenological stage (presented in picture code). Symbols in c and f are data on dark respiration for the two canopy systems measured outside the 2002-2003 season but during the same phenological stages.

carbon gain increased from the beginning of the season to about veraison (BBCH code 81) in all S-E and apical canopy segments and decreased thereafter (Fig. 11). MP vines had high rates of carbon assimilation already early in the season (Fig. 11). These rates remained relatively stable until veraison in the S-E and apical canopy sections despite a more than doubling in leaf area. During this period limitations of A caused by water deficit and high temperatures prevented higher rates of carbon assimilation (Figs 7 and 8). Carbon acquired by the central and basal parts of the canopy on the N-W side decreased continuously after bloom (BBCH code 57) for the MP canopy. In general N-W sections gained less C than S-E sections for both systems which was related to the amount of intercepted PPFD (ZUFFEREY and MURISIER 1997, ESCALONA *et al.* 2003). The interior segment showed relatively high positive C assimilation (up to 1.7 g C segment⁻¹ d⁻¹) only at stages before canopy filling was complete for both pruning treatments (BBCH 17 and 57) but had rates which were negative or close to zero thereafter (Fig. 11). This was also the segment where pre-mature leaf senescence was observed.

The general decline in carbon gain after veraison was related to the rapidly shortening photoperiod and a concomitant progressive ageing of the canopy (LAKSO *et al.* 1996, PONI *et al.* 2000). The seasonal pattern and distribution between single canopy positions of the present study is roughly comparable to results obtained by ESCALONA *et al.* (2003). Their estimates of daily carbon gain ranged from about 0.5 to more than 7 g C m⁻² d⁻¹, whereas in our study when data were converted to a per unit leaf area basis, we obtained a range from negative values to about 4.3 g C m⁻² d⁻¹ which included the deduction of respiration.

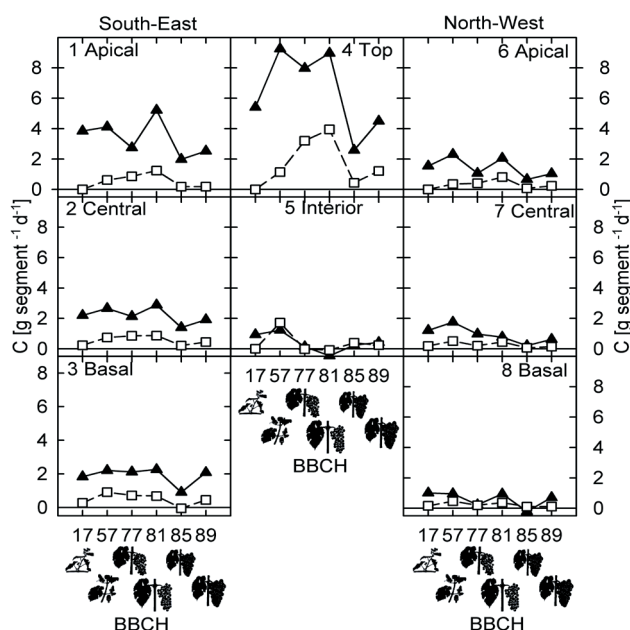


Fig. 11: Integrated carbon gain of 8 canopy segments for 6 d during the 2002 – 2003 seasons. Phenological stages are indicated by picture code. Closed symbols (▲) and continuous lines are for MP vines, open symbols (□) and dashed lines are for VSP.

Calculating carbon gain for entire vines gave superior values for MP throughout the season. For example, at BBCH 17 (28th May 2002), MP fixed 18.5 g C vine⁻¹ day⁻¹ which was about 5.7 fold more than VSP (3.29 g C vine⁻¹ day⁻¹) due to its faster canopy filling and essentially more mature LA per vine. Maximum values were reached for both systems close to veraison (BBCH 81, 15th August 2003) with a gain of 22.43 g C vine⁻¹ day⁻¹ for MP and 10.28 g C vine⁻¹ day⁻¹ for VSP and decreased again thereafter despite the continued increase in average light interception (Fig. 4). This indicates that the increase in light interception efficiency could not compensate for the decrease in day length and the loss of photosynthetic capacity of older leaves.

Calculated respiratory losses were between 4 and 7 % for most of the season (maximum losses on the 29th July were 1.18 g and 0.34 g for MP and VSP vines, respectively), which is about 10–15 % lower than those values obtained from whole-vine gas exchange measurements (LAKSO *et al.* 1996, PONI *et al.* 2000). However, those values include respiratory activity from stems and fruit which were not included in the present study. Nevertheless, in general our data on carbon gain even when extrapolated over the entire season are comparable to those found in the literature (DOWNTON and GRANT 1992, LAKSO *et al.* 1996, PONI *et al.* 2000) and agree well with calculated carbon requirements for vines when respiratory costs for growth and maintenance of other vegetative organs and fruit are deducted (WILLIAMS 1996).

Despite a carbon balance which was superior for MP as compared to VSP vines, it was not sufficient to counter balance the large differences in yield (Table) with respect to sugar concentration in the fruit. During the two years of observation, VSP vines reached 21.8 and 23.2 °Brix in

2002 and 2003, respectively, whereas MP vines reached 20.8 ° Brix in both years.

Conclusion

In a two-year study, MP Riesling vines exhibited higher rates of carbon gain than pruned VSP vines. This carbon was mostly invested into yield formation, whereas sugar concentration in the fruit was lower. Since managing costs are substantially lower for MP vines than for VSP vines, there is a possibility to develop a highly economic viticultural system for quality wine production if yield can be controlled to a level comparable to VSP vines.

Acknowledgements

We would like to thank the Forschungsring des Deutschen Weinbaus (FDW) for financial support.

References

- AL-HAZMI, M.; LAKSO, A. N.; DENNING, S. S.; 1996: Whole canopy versus single leaf gas exchange responses to water stress in Cabernet Sauvignon grapevines. In: T. HENICK-KLING, T. E. WOLF, E. M. HARKNESS (Eds): Proc. Fourth Int. Symp. Cool Climate Enology and Viticulture, II 47–48. Rochester, New York, USA.
- CARBONNEAU, A.; 1991: Bilan de résultats d'analyse sensorielle de la qualité des vins de divers systèmes de conduite. Riv. Vitic. Enol. 4, 335–344.
- CLINGEJEFFER, P. R.; 1983: Minimal pruning - its role in canopy management and implications of its use for the wine industry. In: Proc. 5th Aust. Wine Ind. Techn. Conf., 133–145. Perth, Australia.
- CLINGEJEFFER, P. R.; 1984: Production and growth of minimally pruned Sultana vines. Vitis 23, 42–54.
- CLINGEJEFFER, P. R.; 1989: Minimal pruning of cordon trained vines (MPCT). In: Proc. 2nd Int. Sem. on Mechanical Pruning, Treviso Italy. Rivista di Ingen. Agr. 112–120.
- CLINGEJEFFER, P. R.; 1993: Vine response to modified pruning practices. In: Proc. 2nd N. Shaulis Symp. on "Pruning mechanization and crop control", 20–30. Fredonia, New York, USA.
- CLINGEJEFFER, P. R.; POSSINGHAM, J. V.; 1987: The role of minimal pruning of cordon trained vines (MPCT) in canopy management and its adoption in Australian viticulture. Aust. Grapegrower Winemaker 280, 7–11.
- CLINGEJEFFER, P. R.; PETRIE, P. R.; ASHLEY, R. M.; 2005: Suitability of minimal pruning and other low-input systems for warm and cool climate grape production. In: Proc. 14th GESCO Symp., Vol. 1, 2–9. Forschungsanstalt Geisenheim, Germany.
- DOWNTON, W. J. S.; GRANT, W. J. R.; LOVEYS B. R.; 1987: Diurnal changes in the photosynthesis of field-grown grapevines. New Phytol. 105, 71–80.
- DOWNTON, W. J. S.; GRANT, W. J. R.; 1992: Photosynthetic physiology of spur pruned and minimal pruned grapevines. Aust. J. Plant Physiol. 19, 309–316.
- DÜRING, H.; 1998: Photochemical and non-photochemical responses of glasshouse-grown grape to combined light and water stress. Vitis 37, 1–4.
- EICHORN, K. W.; LORENZ, D. H.; 1977: Phänologische Entwicklungsstadien der Rebe. Nachrichtenbl. Dt. Pflanzenschutzdienst 29, 119–120.
- ESCALONA, J. M.; FLEXAS, J.; MEDRANO, H.; 1999: Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. Aust. J. Plant Physiol. 26, 421–433.
- ESCALONA, J. M.; FLEXAS, J.; BOTA, J.; MEDRANO, H.; 2003: Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. Vitis 42, 57–64.

- FENDINGER, A. G.; POOL, R. M.; DUNST, R. M.; SMITH, R.; 1996: Effect of mechanical thinning minimally-pruned 'Concord' grapevines on fruit composition. In: T. HENICK-KLING, T. E. WOLF, E. M. HARKNESS (Eds): Proc. Fourth Int. Symp. Cool Climate Enology and Viticulture, IV 13-17. Rochester, New York, USA.
- FLEXAS, J.; ESCALONA, J. M.; MEDRANO, H.; 1998: Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* **25**, 893-900.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; ESCALONA, J. M.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H.; 2002: Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Funct. Plant Biol.* **29**, 461-471.
- FLEXAS, J.; GALMES, J.; RIBAS-CARBO, M.; MEDRANO, H.; 2005: The effects of water stress on plant respiration. In: H. LAMBERS, M. RIBAS-CARBO (Eds): *Plant Respiration: From Cell to Ecosystem*, 85-94. Springer, Dordrecht.
- GLADSTONES, J. S.; 1992: *Viticulture and Environment*. Winetitles. Adelaide, Australia.
- GRUBER, B. R.; SCHULTZ, H. R.; 2005: Coupling of plant to soil water status at different vineyard sites. *Acta Hort.* **689**, 381-389.
- INTRIERI, C.; PONI, S.; LIA, G.; GÓMEZ DEL CAMPO, M.; 2001: Vine performance and leaf physiology of conventionally and minimally pruned Sangiovese grapevine. *Vitis* **40**, 123-130.
- LAKSO, A. N.; EISSENSTAT, D. M.; 2005: Crop load - physiology, modeling and relationship to root growth in grapevines, 38-44. In: Proc. 12th Aust. Wine Ind. Techn. Conf.
- LAKSO, A. N.; PONI, S.; 2005: "Vitisim" - a simplified carbon balance model of a grapevine, vol. 2, 89-95. In: Proc. 14th GESCO Symp., Forschungsanstalt Geisenheim, Germany.
- LAKSO, A. N.; DENNING, S. S.; DUNST, R.; FENDINGER, A.; POOL, R. M.; 1996: Comparison of growth and gas exchange of conventionally and minimally pruned 'Concord' grapevines. In: T. HENICK-KLING, T. E. WOLF, E. M. HARKNESS (Eds): Proc. Fourth Int. Symp. Cool Climate Enology and Viticulture, IV 11-12. Rochester, New York, USA.
- LEBON, E.; SCHULTZ, H. R.; 1996: Photosynthèse et conductance stomatique de la vigne à l'échelle du couvert pendant un stress hydrique II. Validation du modèle, 157-168. In: 9th GESCO Symp., Univ. Horticulture and Food Industries, Budapest, Hungary.
- LOUARN, G.; 2005: Analyse et modélisation de l'organogenèse et de l'architecture du rameau de vigne (*Vitis vinifera* L.). Thèse doctorale, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.
- MABROUK, H.; SINOQUET, H.; CARBONNEAU, A.; 1997 a: Canopy structure and radiation regime in grapevines. II. Modeling radiation interception and distribution inside the canopy. *Vitis* **36**, 125-132.
- MABROUK, H.; CARBONNEAU, A.; SINOQUET, H.; 1997 b: Canopy structure and radiation regime in grapevines. I. Spatial and angular distribution of leaf area in two canopy systems. *Vitis* **36**, 119-123.
- MARTÍNEZ DE TODA, M. M.; SANCHI, J. C.; 1998: Long-term effects of zero pruning on Grenache vines under drought conditions. *Vitis* **37**, 155-157.
- OLLAT, N.; SOMMER, K. J.; POOL, R. M.; CLINGELEFFER, P. R.; 1993: Quelques résultats sur la taille minimale en Australie et en France, 181-183. In: 6th GESCO Symp. Reims, France.
- PONI, S.; INTRIERI, C.; MAGNANINI, E.; 2000: Seasonal growth and gas exchange of conventionally and minimally pruned Chardonnay canopies. *Vitis* **39**, 13-18.
- PONI, S.; MAGNANINI, E.; BERNIZZONI, F.; 2003: Degree of correlation between total light interception and whole-canopy net CO₂ exchange rate in two grapevine growth systems. *Aust. J. Grape and Wine Res.* **9**, 2-11.
- POOL, R. M.; DUNST, R. E.; CROWE, D. C.; HUBBARD, H.; HOWARD, G. E.; DE GOLIER, G.; 1993: Predicting and controlling crop of machine and minimally pruned grapevines. In: Proc. 2nd N. Shaulis Symp. on "Pruning mechanization and crop control", 31-45. Fredonia, New York, USA.
- POSSINGHAM, J. V.; 1996: Factors affecting the quality of wine from minimally pruned grapevines. *Acta Hort.* **427**, 387-393.
- RIOU, C.; VALANCOGNE, C.; PIERI, P.; 1989: A simple model for interception of solar radiation by a vineyard - comparison with field data. *Agronomie* **9**, 441-450.
- RIOU, C.; PIERI, P.; LE CLECH, B.; 1994: Water use of grapevines well supplied with water. Simplified expression of transpiration. *Vitis* **33**, 109-115.
- ROSS, J.; 1981: The radiation regime and architecture of plant stands. Junk Publ., The Hague.
- SCHMID, J.; SCHULTZ, H. R.; 2000: Influence of two training systems and irrigation on water consumption of grapevines in the field. *Acta Hort.* **537**, 587-595.
- SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; HEMMINGSEN, E. A.; BRADSTREET, E. D.; 1964: Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **51**, 119-125.
- SCHULTZ, H. R.; 1991: Seasonal and nocturnal changes in leaf age dependent dark respiration of grapevine sun and shade leaves. Modeling the temperature effect. *Vitic. Enol. Sci.* **46**, 129-141.
- SCHULTZ, H. R.; 1992: An empirical model for the simulation of leaf appearance and leaf area development of primary shoots of several grapevine (*Vitis vinifera*) canopy-systems. *Sci. Hort.* **52**, 179-200.
- SCHULTZ, H. R.; 1995: Grape canopy structure, light microclimate and photosynthesis. I. A two-dimensional model of the spatial distribution of surface area densities and leaf ages in two canopy systems. *Vitis* **34**, 211-215.
- SCHULTZ, H. R.; 2002: Entwicklung neuer weinbaulicher Produktionssysteme für Deutschland. Abschlussbericht über das ATW-Vorhaben Nr. 109. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt.
- SCHULTZ, H. R.; 2003: Extension of a Farquhar model for the limitations of leaf photosynthesis induced by light environment, phenology and leaf age in grapevines (*Vitis vinifera* L. cvs White Riesling and Zinfandel). *Funct. Plant Biol.* **30**, 673-687.
- SCHULTZ, H. R.; KRAML, S.; WERWITZKE, U.; ZIMMER, T.; SCHMID, J.; 2000: Adaptation and utilization of minimal pruning systems for quality wine production in cool climates. *Am. J. Enol. Vitic.* **51**, 185-190.
- SHAULIS, N. J.; AMBERG, H.; CROWE, D.; 1966: Response of Concord grapes to light exposure and Geneva double curtain training. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* **89**, 268-280.
- SOMMER, K. J.; 1995: Mechanisierung des Rebschnittes in Australien. In: Proc. Int. ATW-Symposium: Technik im Weinbau, 23-50. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany.
- SOMMER, K. J.; CLINGELEFFER, P. R.; 1993: Comparison of leaf area development, leaf physiology, berry maturation, juice quality and fruit yield of minimal and cane pruned Cabernet Sauvignon grapevines. In: Proc. 2nd N. Shaulis Symp. on "Pruning mechanization and crop control", 14-19. Fredonia, New York, USA.
- SOMMER, K. J.; CLINGELEFFER, P. R.; OLLAT, N.; 1993: Effects of minimal pruning on grapevine canopy development, physiology and cropping level in both cool and warm climates. *Vitic. Enol. Sci.* **48**, 135-139.
- VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J. M.; 1989: Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. *Agronomie* **9**, 419-439.
- WEYAND, K. M.; SCHULTZ, H. R.; 2005: Physiological responses of minimal pruning systems to gibberellic acid. *Acta Hort.* **689**, 117-124.
- WILLIAMS, L. E.; 1996: Grape. In: E. ZAMSKI, A.A. SCHAEFFER (Eds): *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops*, 851-881. Marcel Dekker, New York.
- WILLIAMS, L. E.; AYARS, J. E.; 2005: Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agric. Forest. Meteorol.* **132**, 201-211.
- WINKLER, A. J.; 1954: Effects of overcropping. *Am. J. Enol. Vitic.* **5**, 4-12.
- WINKLER, A. J.; 1958: The relation of leaf area and climate to vine performance and grape quality. *Am. J. Enol. Vitic.* **9**, 10-23.
- ZIMMER, T.; 1998: Reservestoffhaushalt und Laubwandmorphologie bei Normal- und Minimalschnittsystemen. B. Sc. Thesis, Fachhochschule Wiesbaden-Geisenheim, Germany.
- ZUFFEREY, V.; MURISIER, F.; 1997: Orientation des rangs de vigne et interception de l'énergie lumineuse par le feuillage. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hort.* **29**, 239-243.

Received January 9, 2006

Physiological Responses of Minimal Pruning Systems to Gibberellic Acid

K.M. Weyand
Institut für Weinbau und Rebenzüchtung
Forschungsanstalt, D-65366 Geisenheim
Germany

H.R. Schultz
Institut für Weinbau und Rebenzüchtung
Forschungsanstalt, D-65366 Geisenheim
and
Fachhochschule Wiesbaden/ Geisenheim, D-
65366 Geisenheim
Germany

Keywords: *Vitis vinifera*, 'Riesling', minimal pruning, fruit quality, fruit thinning, gibberellic acid, bud fertility, cluster structure, aroma potential, pre-dawn leaf water potential

Abstract

Minimal pruning systems (MP) can have excessive yields which when combined with cool climate and fertile soils, often causes delayed fruit maturity. The use of gibberellic acid (GA₃) was examined to control yield but retain the positive aspects of MP fruit, i.e. loose clusters and small berries. Field experiments were conducted in 2002 and 2003 at Geisenheim, Germany with *Vitis vinifera* 'Riesling,' where GA₃ was applied at 500 L ha⁻¹ at a concentration of 50 ppm during bloom. The application of GA₃ decreased yield and must/wine quality in 2002 depending on the exact stage of bloom it was applied (50 or 80% capfall). Via carry-over effects on bud-fertility and a second bloom-time application yield decreased further and wine quality increased in 2003. No difference in shoot number per vine was observed between GA₃-treated and control vines in 2002 and 2003, while cluster-number was significantly lower in GA₃-MP vines. The use of GA₃ partly caused an increase in cluster compactness in 2002, but this effect was absent in 2003 and the MP vines retained their characteristic small berry size and loose clusters. Irrespective of yield, total glycoside pool size (G-G) in berries determined with the Glycosyl-glucose-assay showed more G-G g⁻¹ berry fresh weight (BFW) at harvest for the GA₃ treated vines both years, albeit not always significant. The reduction in yield through the application of GA₃ resulted in higher pre-dawn leaf water potentials for most of the season in 2003 at two different vineyard sites. Results give an overview about the potential and possibilities of using GA₃ applications on MP-systems as a means to improve fruit quality.

INTRODUCTION

Under European growing conditions minimal-pruned (MP) vines are characterized by high yields and insufficient physiological berry maturity with low sugar content. To increase fruit quality cluster thinning would be required in most years. Manual cluster thinning will improve fruit quality, but it is not economically feasible. Since MP was introduced into Germany in 1993 (Schultz, 2002) there have been attempts to solve this problem mechanically using harvesters and/or shoot cutter bars for thinning at different phenological stages from post-bloom until veraison (Rühling, 1999). Mechanical post-bloom thinning-experiments resulted in strong vine-compensation and more compact clusters. When attempted near veraison severe damage to clusters occurred resulting in many injured berries being more susceptible to bunch rot and other diseases. Skirting the canopy led to a decrease in the leaf to fruit ratio as only the most peripheral leaves and clusters were removed. Fisher et al. (1997) found similar results on minimal pruned 'Concord' grapes and Petrie et al. (2003) observed poorly developed berries on clusters of mechanically thinned vines with negative effects on wine quality.

The use of ethylene releasing compounds, such as ethephon (2-chloroethyl phosphonic acid), have been tried previously, but are very difficult to handle, and their

thinning effect is unpredictable under variable weather conditions (Meyer, 1995). Results from trials on MP vines and standard cane pruned vines in Geisenheim were not promising. Those substances may be useful to improve color in red cultivars (Dumartin, 1983) especially table grapes, but do not seem to be useful for thinning under cool climate conditions. Other chemical agents intended for thinning during the bloom and post-bloom periods are also difficult to handle (Lohnau, 2003) or showed very poor results (Murisier, 1988; Regner et al., 2002).

Gibberellic acid (GA_3) has been used in agriculture for some decades for different goals (Basra, 2000). In viticulture, GA_3 is used to reduce cluster compactness, increase berry size and for thinning or preventing bunch rot in seedless table grape cultivars (Jawanda and Vij, 1973; Pearson and Riegel, 1983; Dokoozlian and Peacock, 2001a; Dokoozlian et al., 2001b). Reduced bud fruitfulness after the application of GA_3 has been described (Christodoulou et al., 1968; Harrell and Williams, 1987; Ferree et al., 2003), which for normal production systems would be seen as a disadvantage, but would be an advantage for controlling yield in MP systems. Our objectives were therefore to (1) test the short-term effect of GA_3 applications during bloom on MP-systems and (2) study the long-term effects and their possible use for yield control of these systems.

MATERIALS AND METHODS

Field experiments using GA_3 were conducted in Geisenheim, Germany on minimal pruned *Vitis vinifera* 'Riesling' (clone: Gm 198/ rootstock: '5C') in 2002 and 2003. The vineyard was planted in 1977 (row spacing: 2.8 m, vine spacing: 0.85 m, slope: 15-20%, exposition: South to South-West; soil class: loam to clay-loam). The MP-plots were established during the spring of 1996 (MP96). The GA_3 was applied at 500 L ha⁻¹ at a concentration of 50 ppm at bloom (BBCH65, Eichhorn and Lorenz, 1995; 50% capfall) in 2002 and 2003 (MP96Gibb.02/03), and another treatment received 500 L ha⁻¹, 50 ppm GA_3 at 80% capfall (BBCH68) only in 2002 (MP96Gibb.02). The GA_3 was not applied to this plot in 2003. Both were compared to an untreated control (MP96-C).

Total yield, yield components and quality parameters were determined at harvest in 2002 and 2003. Carry over effects on bud fertility were estimated after budbreak the season following the treatments by counting shoot and cluster number per m canopy length and expressing the values on a per m² soil surface basis and determining cluster dry weight of a representative population at BBCH57 each year. The ratio of cluster weight to cluster length was used to quantify cluster structure and was assessed in July and at harvest each year. Pre-dawn water potential was measured throughout the vegetation period in 2003 with a pressure chamber (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA).

The pool size of secondary metabolites was measured with a modified glycosyl-glucose-assay (G-G) (Werwitzke, 2003) at several stages during berry maturation up to harvest on a 50 berry sample, replicated 3 times. The same sample was used to determine total soluble solids (°Brix) with a hand-held refractometer (Type: 2556/93, Leo Kübler GmbH, Karlsruhe, Germany) and total phenols expressed as Catechin equivalents according to the method of Folin and Denis (1912).

Treatments were arranged in blocks of 3 to 5 rows and replicated at random 3 times throughout the experimental vineyards. Statistical analysis was by one-way analysis of variance (ANOVA, Holm-Sidak method, Sigma Stat 3.01, SPSS-Science, Chicago, USA).

RESULTS AND DISCUSSION

The earlier GA_3 application in 2002 (BBCH 65) had almost no effect on yield (6% reduction) compared to the control and berry weight was also similar to the control (Table 1). The later GA_3 application in 2002 (BBCH 68) reduced yield by 28% compared to the control, which could partly be explained by a 15% reduction in its berry weight. Acidity increased by 14% (MP96 Gibb.02, BBCH 68) and 11% (MP96 Gibb.02/03, BBCH 65), while pH was lowered slightly for both GA_3 treatments compared to the control.

Carry-over effects on bud fruitfulness (MP96 Gibb.02) and a second full-bloom (50% capfall) application in 2003 (MP96 Gibb.02/03) reduced yield 26 and 50%, respectively, compared to the control in 2003 (Table 1). Soluble solids were greater than 23°Brix for the GA₃ treated vines but less than 21°Brix for the controls. Must acidity was about 0.5 g L⁻¹ higher for the treated vines than the controls with little effect on pH (Table 1).

Shoot numbers per m² soil surface were not significantly different among treatments at budbreak in 2003 and 2004 (Fig. 1). Cluster number was reduced significantly by ~35 clusters per m² soil surface for both GA₃ treatments in 2003 compared to the control, a reduction of about 30%.

Cluster numbers in 2004 were generally lower than in 2003, but the additional treatment (MP96 Gibb.02/03) in 2003 resulted in a further reduction in bud fruitfulness and the lowest cluster number for all treatments and years (a reduction >50%) compared to the control. Cluster numbers for the MP96 Gibb.02 were not significantly different from the control in 2004.

Clusters from GA₃ treated vines had a significantly smaller dry weight before bloom both years, indicating that GA₃ not only reduced potential yield by reducing cluster number but it also affected inflorescence size. This effect was absent when GA₃ was only applied for one year (MP96 Gibb.02). Others have observed similar effects after a bloom-time application of GA₃ on vines that were pruned (Harrell and Williams, 1987). In general, the reported effects of GA₃ on yield and quality parameters of *V. vinifera* are quite variable. Bangerth and Götz (1975) found an increase in must sugar content for several cultivars, including 'Riesling', when GA₃ was applied at full bloom to pruned vines under German growing conditions. While yield for all cultivars decreased up to 34%, 'Pinot noir' was the only cultivar where sugar content also decreased. Weaver (1975) found more soluble solids and less acidity in the must of different GA₃ pre-bloom to full bloom treatments for 'Zinfandel' in California. Valenzuela (1975) observed no changes in sugar content for 'Moscato Rosada' after spraying GA₃ at a berry size of 2 mm. Jensen et al. (1994) and Wolf and Loubser (1994) reported a delay in berry maturity after GA₃ treatments at berry set for 'Thompson Seedless' similar to what was found in the first year of this study. The outcome of other GA₃ experiments also varied greatly and GA₃ effects on maturity and yield seem highly dependent on cultivar, canopy system, phenological stage at the time of application, weather conditions, application technology and GA₃ concentration (Regner et al., 2002; Roschatt et al., 2003; Christodoulou et al., 1968). Despite this variability, the observed decrease in sugar content in the first year of the present study, while yield was also reduced, was unexpected.

The MP96 Gibb.02 (BBCH 68) treatment had fewer small clusters but they were almost as compact as those from the control vines (Fig. 2). Cluster compactness was inferred from the slope of regression analysis of cluster weight as a function of cluster length (Fig. 2). At harvest on 26 Oct. 2002, clusters of the MP96 Gibb.02/03 treatment were more compact than the control and MP96 Gibb.02 treatment, with slope coefficients of about 11.5 as compared to 4.0 to 4.4 for the other samples, respectively (Fig. 2, A-C). This effect of GA₃ on cluster structure and appearance has been previously described for pruned grapevines (Dokoozlian et al., 2001b; Korkas et al., 2000). Irrespective of the differences in cluster compactness, all MP treatments had few *Botrytis cinerea* infections due to the loose cluster structure and favorable weather conditions in 2002 and 2003. After the MP96 Gibb.02/03 treatment had been sprayed with GA₃ at bloom for two consecutive years the clusters were less compact than in 2002, especially when compared to the control (Fig. 2, D-F).

There are very few results available on the influence of GA₃ applications on grape composition, such as aromatic precursors. Schaible (2002) found slightly increased G-G per berry fresh weight in minimally pruned 'Müller-Thurgau' vines but no difference for 'Riesling', while Lohnau (2003) found higher G-G values for minimally pruned 'Riesling' treated with GA₃. Greulich (2002) reported higher amounts of bound glycosides in pruned Silvaner when the vines were treated with GA₃ at full bloom. In the

present study G-G values, °Brix and catechin levels were low early during ripening and increased up to harvest both years (Fig. 3). In general, there was a tendency for higher G-G values and higher phenols for the GA₃ treated vines at harvest in both years (Fig. 3, B, D). All measured values of berry composition in 2003 were considerably above those from 2002 (Fig. 3, A-D).

The application of GA₃ resulted in higher pre-dawn water potentials (Ψ_{PD}) for most of the season in 2003 (Fig. 4). Between the end of May and the first 10 days of July, all plots had pre-dawn values less negative than -0.25 MPa and were not stressed. From mid-July onwards pre-dawn water potential of the control was more negative than that of treated vines. The control vines Ψ_{PD} reached a minimum of -0.5 to -0.6 MPa, whereas that of the MP96 Gibb.02/03 treatment fluctuated between -0.25 to -0.4 MPa from August until the first 10 days of September (Fig. 4). Pre-dawn Ψ_{PD} of the MP96 Gibb.02 treatment was slightly more negative than that of the MP96 Gibb.02/03 treatment. Following 30 mm of rainfall on the 6th and 7th of September, GA₃ treated vines' Ψ_{PD} recovered to -0.1 to -0.15 MPa and the controls to -0.25 MPa (Fig. 4). The control vines remained more stressed thereafter. Comparable pre-dawn leaf water potential data were obtained in a second MP-vineyard site thinned with GA₃ (data not shown). Other authors have found that cluster thinning manually did not affect leaf water potential in grapevines (Natali et al., 1992).

CONCLUSIONS

Gibberellic acid applications during bloom may help to make MP systems a practical alternative to hand pruned systems by reducing yield, while largely maintaining small berry size and loose cluster structure during the season of the application and through their influence on bud fertility and flower number per cluster the following season. Because of high yields and leaf area, and an advancement in leaf area development at the beginning of the season, MP systems are often more prone to water deficits than standard VSP systems. This may contribute to delayed ripening in MP systems in some years. The reduction in bud fertility and the decrease in yield after GA₃ applications in this study significantly improved plant water status which may in part have contributed to better fruit quality.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the FDW/ DLG (Forschungsring des Deutschen Weinbaus/ Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft) for financing this project.

Literature Cited

- Bangerth, F. and Götz, G. 1975. Zur Wirkung von Gibberellinsäure- und Kinetinapplikationen auf Qualität und Ertrag verschiedener Sorten von *Vitis vinifera* L. Die Wein-Wissenschaft 30:121-128.
- Basra, A.S. 2000. Plant Growth Regulators in Agriculture and Horticulture. Food Products Press, Hawthorne Press Inc, New York.
- Christodoulou, A.J., Weaver, R.J. and Pool, R.M. 1968. Relation of gibberellin treatment to fruit-set, berry development, and cluster compactness in *Vitis vinifera* grapes. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 92:301-310.
- Dokoozlian, N.K. and Peacock, W.L. 2001a. Gibberellic acid applied at bloom reduces fruit set and improves size of 'Crimson Seedless' table grapes. HortSci. 36:706-709.
- Dokoozlian, N.K., Ebisuda, N.C. and Hashim, J.M. 2001b. Gibberellic acid bloom sprays reduce fruit set and improve packable yield of 'Autumn Royal' table grapes. J. Amer. Pomol. Soc. 55:55-57.
- Dumartin, P. 1983. Ethephon trials in order to improve red vintage. Vignes et Vins: 7-10.
- Eichhorn, K.W. and Lorenz, D.H. 1995: Phenological growth stages of the grapevine, *Vitis vinifera* L. spp. vinifera. Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. Austral. J. Grape and Wine Res. 1:100-103.
- Ferree, D.C., Ellis, M.A., McArthey, S.J., Brown, M.V. and Scurlock, D.M. 2003.

- Comparison of fungicide, leaf removal and gibberellic acid on development of grape clusters and botrytis bunch rot of 'Vignoles' and 'Pinot Gris'. *Small Fruits Rev.* 2:3-18.
- Fisher, K.H., Piott, B. and Tancock, T. 1997. Estimating Concord crops for machine thinning accuracy. Communications Services, New York State Agricultural Experiment Station, IV.28-IV32, Proceedings of the Fourth International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology, Rochester, NY, USA, 16-20 July, 1996.
- Folin, O. and Denis, W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J. Biol. Chem.* 12:239-243.
- Greulich, M. 2002. Einfluss des Einsatzes von Phytohormonen auf die Ertragsregulierung bei Silvaner und Grauburgunder. Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden, Studienort Geisenheim.
- Harrell, D.C. and Williams, L.E. 1987. The influence of girdling and gibberellic acid application at fruit-set on Ruby Seedless and Thompson Seedless grapes. *Amer. J. Enol. Vitic.* 38:83-88.
- Jensen, F.L., Bianchi, M., Moriyama, M. and Kazarian, D. 1994. Influence of application timing of gibberellin-enlarging treatments on the maturity of Thompson Seedless table grapes. In: (Rantz, J.M. (Ed.): Proceedings of the International Symposium on Table Grape Production), June 28 and 29, 1994, Anaheim, CA, USA.
- Jawanda, J.S. and Vij, V.K. 1973. Effect of gibberellic acid and ringing on fruit set, cluster and berry characters and fruit quality of Thompson Seedless grape. *Indian. J. Agric. Sci.* 43:346-351.
- Korkas, E., Nerantzis, E., Kourtidou-Tymba, P. and Banilas, G. 2000 Der Einfluss einer variierten Gibberellinsäureapplikation zu verschiedenen Entwicklungsstadien auf Ertrags- und Qualitätsparameter bei der Tafeltraube Sultanina (*Vitis vinifera* L.) in Griechenland. Teil II. Bei der Vergrößerung der Gescheine und zur Blüte. *Wein-Wissenschaft* 55:91-101.
- Lohnau, P. 2003. Einfluss verschiedener Ertragsregulierender Maßnahmen auf eine Riesling – Minimalschnittanlage. Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden, Studienort Geisenheim.
- Meyer, E. 1995. Chemische Trauben-Ausdünnung mit Ethephon. *Deutsches Weinbau Jahrbuch* 46:175-177.
- Murisier, F. 1988. Utilization of growth regulators in viticulture in view of yield regulation. *Rev. Suisse Vitic. Arboric., Hortic.* 20:257-261.
- Natali, S., Bignami, C. and Cammilli, C. 1992. The effect of defruiting and stem girdling on the gas exchange and the water status of vines, cv. Trebbiano giallo. *Vignevini.* 19:55-58.
- Pearson, R.C. and Riegel, D.G. 1983. Control of botrytis bunch rot of ripening grapes: Timing applications of dicarboximide fungicides. *Amer. J. Enol. Vitic.* 34:167-172.
- Petrie, P., Clingeffer, P. and Krstic, M.P. 2003. Mechanical thinning to stabilize yield and improve grape maturity and color. *Austral. & NZ Grapegrower Winemaker* 473:118-120.
- Regner, F., Stadlbauer, A. and Eisenheild, C. 2002. Versuche zur chemischen Beerenausdünnung bei Reben. *Mitteilungen Klosterneuburg, Rebe und Wein, Obstbau und Früchteverwertung* 52:3-9.
- Roschatt, C., Haas, E. and Pedri, U. 2003. Der Einsatz von Gibberellinen im Weinbau gegen Essigfäule. *Obstbau – Weinbau. Fachblatt des Südtiroler Beratungsrings* 40:114-117.
- Rühling, W. 1999. Maschinelles Ausdünnen. Abschlussbericht über das ATW-Vorhaben Nr. 91: 31 pp.
- Schultz, H.R. 2002. Minimalschnittsysteme. Abschlussbericht über das ATW-Vorhaben Nr. 109: 71 pp.
- Schaible, H. 2002. Ertragsregulierung im Minimalschnitt mittels Phytohormonen. Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden, Studienort Geisenheim.
- Valenzuela, B.J. 1975. Effects of gibberellic acid on yield and berry characters of grapes

- (*Vitis vinifera* L.) cultivar Moscatel Rosada. Agri. Tech. 35:85-89.
- Werwitzke, U. 2003. Einfluss der Pflanzenernährung, weinbaulicher Maßnahmen und der mikrobiologischen Rahmenbedingungen auf glykosidisch gebundene Inhaltsstoffe in *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. Geisenheimer Berichte. 52: 234 pp.
- Weaver, R.J. 1975. Effect of time of application of potassium gibberellate on cluster development of 'Zinfandel' grapes. Vitis 14:97-102.
- Wolf, E.E.H. and Loubser, J.T. 1994. Gibberellic acid levels and quality effects of gibberellic acid in treated Sultanina grapes. In: Rantz, J.M. (Ed.): Proc. Intl. Symp. Table Grape Production, June 28 and 29, 1994, Anaheim, CA, USA.

Table

Table 1. Yield and berry parameters at harvest 2002 (02) and 2003 (03) for the three treatments; MP96-C (control), MP96 Gibb.02/03 (500 L ha⁻¹, 50 ppm GA₃, BBCH 65 in 2002 and 2003) and MP96 Gibb.02 (500 L ha⁻¹, 50 ppm GA₃, BBCH 68 only in 2002). The 100-berry weight is the mean of three randomized field repetitions just prior to harvest. The other parameters were measured on grapes and must being processed for winemaking.

Treatment	100-berry wt. (g)		Yield (t ha ⁻¹)		Soluble Solids (°Brix)		Total Acidity (g L ⁻¹)		pH	
	02	03	02	03	02	03	02	03	02	03
MP96-C	141	108	26.3	26.5	21.9	20.8	9.3	6.8	3.23	3.31
MP96 Gibb.02/03	140	133	24.7	13.4	20.4	23.9	10.7	7.5	3.12	3.23
MP96 Gibb.02	119	116	18.9	19.5	20.6	23.2	10.4	7.4	3.10	3.17

Figures

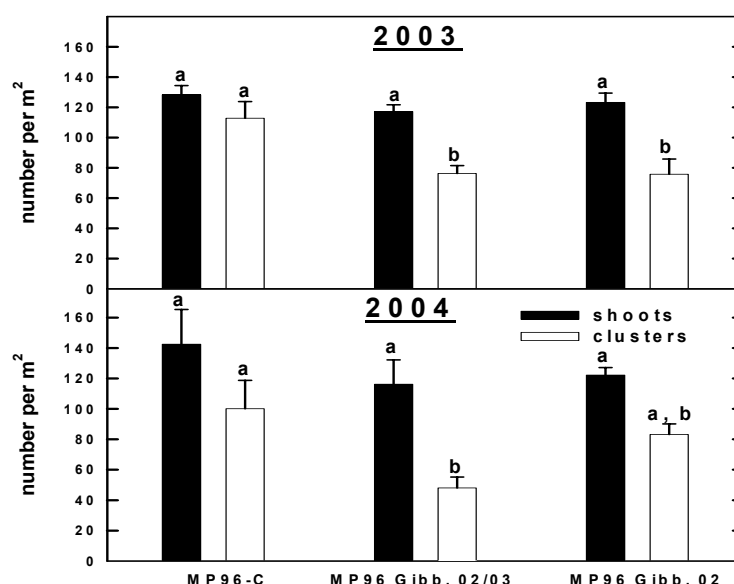


Fig. 1. Shoot and cluster number for the three different GA₃ treatments. Bars denote the average shoot and cluster number m⁻² of soil surface from four different vines ± SE. Statistical evaluation was by one-way analysis of variance (ANOVA, Holm-Sidak method, Sigma Stat 3.01, SPSS-Science, Chicago, USA) with $P \leq 0.05$. Other information is as given in Table 1.

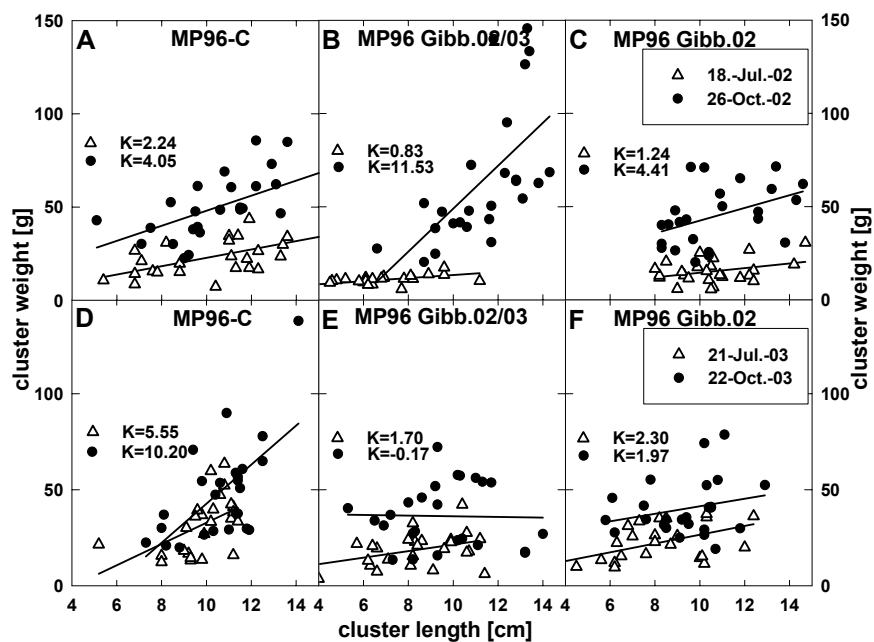


Fig. 2. Effect of gibberellic acid on the cluster weight to cluster length ratio of randomized populations ($n = 25$) for clusters collected in July (Δ) and at harvest in October ($\bullet$) in 2002 (upper panel; A, B, C) and 2003 (lower panel; D, E, F). The slope of the linear regression (K) expresses the compactness of the cluster population. Higher K -values denote a greater compactness. Other information is as given in Figure 1.

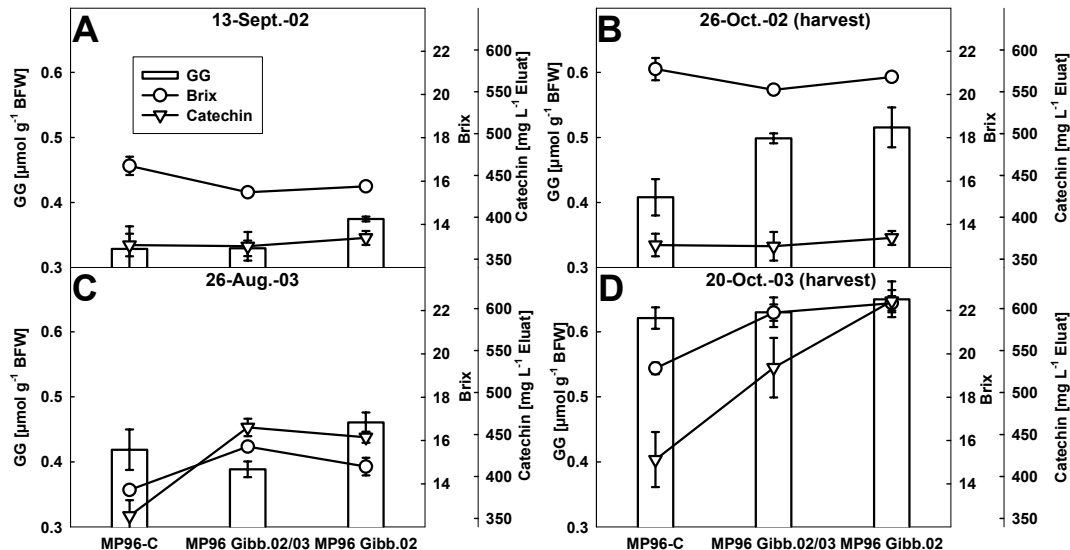


Fig. 3. Glycosyl-glucose (GG), °Brix and total phenols expressed as Catechin equivalents in berries of minimally pruned 'Riesling' grapevines as a function of GA_3 treatments on two dates in 2002 and 2003. Data are the means of three field and two lab repetitions $\pm$ SE. Other information is as found in Table 1.

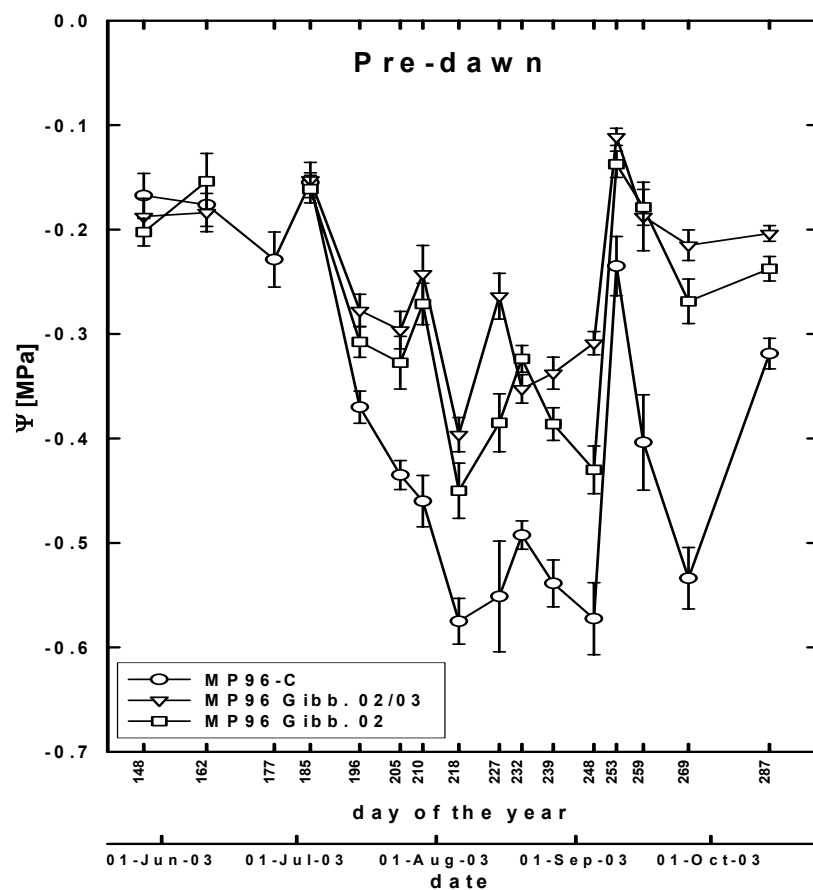


Fig. 4. Pre-dawn leaf water potential during the 2003 growing season as a function of GA₃ application on minimally pruned 'Riesling' grapevines. Data show the mean of eight field replicates $\pm$ SE. Other information is as given in Table 1.

1 **REGULATING YIELD AND WINE QUALITY OF MINIMAL PRUNING SYSTEMS**
2 **THROUGH THE APPLICATION OF GIBBERELLIC ACID**

3
4 **REGULATION DU RENDEMENT ET DE LA QUALITE DE VINS ISSUS DE**
5 **SYSTEMES DE TAILLE MINIMALE GRACE A L'APPLICATION DE L'ACIDE**
6 **GIBBERELLIQUE**

7
8 Karsten M. WEYAND¹ and Hans R. SCHULTZ^{1,2,*}
9

10 ¹Institut für Weinbau und Rebenzüchtung, Fachgebiet Weinbau,
11 Forschungsanstalt, von Lade Straße 1, D-65366 Geisenheim, Germany;

12 ²Fachbereich Geisenheim, Fachhochschule Wiesbaden, von Lade Straße 1,
13 D-65366 Geisenheim, Germany;

14
15 *Corresponding author [Fax: (49) 6722 502140; email: h.schultz@fa-gm.de]
16

17 **Abstract** : The use of gibberellic acid to increase berry size and to loosen up
18 bunches in the production of seedless table grape varieties has a long history.
19 The use of gibberellic acid on wine grapes, however, is very limited, mainly
20 because some varieties can show substantial losses in bud fertility and thus in
21 commercial yield. We tried to exploit the feature of decreases in bud fertility as a
22 response to gibberellic acid applications (in the form of GA₃) to regulate yield and
23 quality aspects of minimally pruned (MP) White Riesling grapevines where other
24 thinning methods have failed. Single applications of 50 mg L⁻¹ GA₃ at 500 L ha⁻¹
25 were used during full bloom in each year from 2002-2004 (MP GA₃-02/03/04) in
26 one MP treatment, while the second MP treatment received no GA₃ in 2003 (MP
27 GA₃-02/04). Treatments were compared with untreated MP vines and with a
28 standard pruned, vertically shoot positioned system (VSP). GA₃ applications
29 reduced inflorescence number by about 30-50% the year following treatment,
30 while shoot number remained unchanged. GA₃ treated MP vines responded to

31 this type of “thinning” by a 10-28% increase in berry weight. Total yield of MP
32 vines was reduced by 26-49% the year after first time application approaching
33 VSP yield. Yield of the continuously treated vines (MP GA₃-02/03/04) remained
34 comparable to pruned VSP vines up to now (harvest 2005) (about 9-13 tons per
35 ha). Discontinuing the GA₃ treatment for one year caused yield to re-approach the
36 one of untreated MP vines the next year. Despite of the increase in berry weight,
37 bunch structure remained less compact as compared to VSP fruit. Sugar levels at
38 harvest of vines treated with GA₃ the previous year were similar to sugar levels of
39 VSP vines and superior to untreated MP vines. We found no treatment effect on
40 glycosyl-glucose (bound secondary metabolites, G-G) concentration but a slight
41 increase in phenols and titratable acidity the year after GA₃ treatment. Sensory
42 evaluation of the resulting wines revealed no or only minimal differences with a
43 slight preference for the least yielding VSP and MP GA₃-02/03/04 wines. The
44 outlined strategy seems promising for the production of quality fruit in a highly
45 economic viticultural system.

46
47 **Résumé :** L'utilisation de l'acide gibbérellique pour augmenter la taille des
48 raisins et favoriser l'aération des grappes de variétés de raisins de table sans
49 pépins a une longue histoire. L'utilisation de l'acide gibbérellique sur des grappes
50 pour vinification est cependant très limitée parce que certaines variétés
51 présentent des pertes substantielles de fertilité des bourgeons et ainsi des pertes
52 de rendement commercial. Nous avons essayé d'exploiter cette faculté de
53 décroître la fertilité des bourgeons en réponse à l'application de l'acide
54 gibbérellique (sous forme GA₃) pour réguler le rendement et les paramètres
55 qualitatifs de systèmes de taille minimale (MP) sur des grappes de Riesling car
56 d'autres méthodes d'éclaircissage n'ont pas donné de résultat satisfaisants.
57 50mg/L de GA₃ à 500hl/ha ont été appliqués une fois en pleine floraison chaque
58 année, de 2002 à 2004 (MP GA₃-02/03/04) sur un traitement de MP, pour un
59 second traitement de MP, l'application de GA₃ ne fut pas effectuée en 2003 (MP
60 GA₃-02/04). Ces traitements ont été comparés à des vignes de MP non traitées
61 et à un système de taille standard (VSP). L'application de GA₃ provoqua une
62 réduction du nombre d'inflorescences d'environ 30% à 50% l'année suivant le

traitement alors que le nombre de sarments est demeuré inchangé. Les vignes de MP traitées ont présenté une augmentation de 10% à 28% du poids des baies en réponse à ce type « d'éclaircissage ». Le rendement total des vignes de MP a été réduit de 26% à 49% l'année suivant l'application en 2002, approchant le rendement du VSP. Le rendement de vignes continuellement traitées (MP GA3-02/03/04) demeura comparable à celui de vignes VSP jusqu'à présent (environ 9-13 t/ha). L'interruption du traitement de GA₃ pendant 1 an provoqua une augmentation du rendement se rapprochant à nouveau de celui de vigne de MP non traitées l'année suivante. Malgré l'augmentation du poids des baies, la structure des grappes est demeurée moins compacte comparée à des grappes de VSP. Le taux de sucre à la vendange pour des vignes traitées avec le GA₃ l'année précédente était similaire à ceux de vignes de VSP et supérieur à ceux de vignes de MP non traitées. Les différents traitements n'ont pas eu d'effet sur la concentration en glycosyl-glucose (composés secondaires liés, G-G) mais ont provoqué une légère augmentation des composés phénoliques et de l'acidité totale, l'année suivant le traitement de GA₃. L'évaluation sensorielle des vins résultants n'a pas présenté de différence ou seulement minimale avec une légère préférence pour le VSP et les vins issus de MP GA3-02/03/04. avec ses rendements le moins élevés. La stratégie présentée semble promettante pour une production de fruits de qualité dans un système de viticulture très économique.

Key words : minimal pruning (MP), vertically shoot positioned (VSP), gibberellic acid, thinning, bud fruitfulness, wine quality.

Mots cles : taille minimale (MP), taille standard (VSP), acide gibbéréllique, éclaircissage, fertilité des bourgeons, vins de qualité.

INTRODUCTION

Minimal pruning (MP) can be a low cost, viable viticultural management technique to produce fruit of satisfactory quality for wine production with *Vitis vinifera* L. cultivars in warm but also in some cool climate areas of Australia

(CLINGELEFFER, 1984; POSSINGHAM, 1996). In the cool climate areas of northern America (Northeast US, British Columbia), this technique has been used with *Vitis labruscana* cvs. and some hybrids for fruit juice and wine production (POOL, 1995; FENDINGER *et al.*, 1996; REYNOLDS and WARDLE, 2001). Despite of some promising results in various traditional wine growing regions of Europe with MP systems without crop control (IACONO *et al.*, 1998; MARTINEZ DE TODA and SANCHA, 1998; SCHULTZ *et al.*, 2000), other trials showed difficulties in adapting MP to climate and/or variety due to excessive yield and insufficient maturity (CARBONNEAU, 1991; OLLAT *et al.*, 1993; WEYAND and SCHULTZ, 2005). In cooler climates, MP vines are often less susceptible to fungal diseases such as *Botrytis cinerea* due to looser bunches (EMMETT *et al.*, 1994; SCHULTZ *et al.*, 2000) and with some cultivars, such as Riesling, exhibit more pronounced floral or fruity aromas if yield is not excessive (SCHULTZ, 2002). Thus, irrespective of *Vitis* species or cultivar, it is generally accepted that the use of MP in cool climates requires some type of crop control to achieve adequate maturity and wine quality levels (POSSINGHAM, 1996; REYNOLDS and WARDLE, 2001). In Europe an additional legal aspect comes into play, since yield may be beyond the contingents imposed by the European Community for quality wine production (SCHULTZ *et al.*, 2000).

One major goal to convert MP into a feasible management system suitable for quality wine production under cool climate European growing conditions was therefore to develop an economic strategy for crop control to improve quality without losing the typical advantages of these systems such as loose bunches and smaller berries with a high skin to pulp ratio (SCHULTZ *et al.*, 2000). Previous machine thinning trials with standard or modified vertical cutter bars or mechanical harvesters (POOL *et al.*, 1993) were not successful because the first method reduced leaf area to fruit ratio (SCHULTZ *et al.*, 2000), while the second caused substantial damage to the remaining bunches (RÜHLING, 1999) with possible negative consequences for wine quality (PETRIE *et al.*, 2003). The latter response is, however, not necessarily common to all varieties and under all growing conditions (SOMMER, 1995).

Aside of hand and mechanical thinning, a large range of chemical compounds have been tested to modify grape cluster structure or thinning berries, bunch parts or entire bunches albeit not on MP vines (WEAVER and POOL, 1971; ZABADAL *et al.*, 1996). Used agents belonged to diverse chemical groups such as fertilizers (e.g. ammonium-nitrate), plant hormones and growth regulators (e.g. CCC (2-chloroethyltrimethyl-ammonium chloride), abscisic acid, ethephon (2-chloroethyl-phosphonic-acid)) or phytosanitary products (e.g. copper sulfate, sulfur), but variability in response, increased environmental awareness, human health concerns, and difficulties in handling prevented commercial use. Gibberellic acid, which is widely used in the production of seedless table grapes (WEAVER and POOL, 1971; DOKOOZLIAN *et al.*, 2001; MAY, 2004), can also be used to thin grape clusters (WEAVER and McCUNE, 1959a; WEAVER and POOL, 1971) but can cause reduced and delayed bud break (WEAVER and McCUNE, 1961) and loss of fruitfulness in seeded varieties the year after application (WEAVER, 1960; BANGERTH and GÖTZ, 1975). The latter feature is related to the antagonistic effect between cytokinins and gibberellins, which play a key role in bud fertility and inflorescence and flower formation (SRINIVASAN and MULLINS, 1979; SRINIVASAN and MULLINS, 1980; SRINIVASAN and MULLINS, 1981). It was exactly this negative effect which we thought using to regulate yield and quality in MP vines under cool climate conditions.

The objectives of the present study were therefore to use bloom time applications of gibberellic acid in a long-term strategy to adjust yield of MP vines to similar levels as standard pruned Riesling grapevines, while improving grape quality for wine production, without losing the typical MP advantages of exposed and loose bunches and small berries.

MATERIALS AND METHODS

Experimental design: Field experiments were conducted with *Vitis vinifera* L. cv. Riesling (clone: Gm 198/ rootstock: 5C, planted in spring 1977) from 2002 to 2005 in Geisenheim (50° N, 8° E), Germany. The experimental vineyard had a South to South-West exposure with a slope of 15-20% and a loam to clay-loam soil. The minimal pruned plots (MP) were converted from a Sylvoz-

trellis during the winter 1995 - 1996 and compared to a standard vertical shoot positioning system (VSP). MP had a row by vine spacing of 2.8m x 0.85m and the VSP system of 2.0m x 1.2m, respectively. Both the MP and VSP-system were arranged in three replicated randomized blocks of 2 - 5 rows each with a total of 144 vines per pruning system. The VSP was cane-pruned to 8 buds per m² (19 buds per vine).

Gibberellic acid applications and treatments: The commercial products 'Set Fruit' (Comercial Química Massó S.A., Barcelona, Spain) and 'Gibb₃' (Globachem NV, Sint-Truiden, Belgium) were used for gibberellic acid treatments in 2002 and 2003 - 2004, respectively. The two products had similar formulations with gibberellic acid in the form of GA₃ with concentrations of 9% w/w and 10% w/w, respectively, in 10 g tablets, with sodium-bi-carbonate as releasing substance. The tablets were dissolved in distilled water and GA₃ was applied to MP vines at a concentration of 50 mg L⁻¹ equivalent to a total volume of 500 L ha⁻¹ with a backpack sprayer (type: 423 Port, Solo Kleinmotoren GmbH, Sindelfingen, Germany). All applications were done on a total of 48 vines per treatment until the canopy and inflorescences were slightly wet and repeated a second time after about 30 minutes. One treatment received GA₃ at full bloom (phenological stage BBCH 65 according to EICHHORN and LORENZ (1977)) in all experimental years (MP GA₃-02/03/04). Application dates were 16th June in 2002, 5th June in 2003, and 16th June in 2004.

The second GA₃ treatment was applied in 2002 and 2004, but not in 2003 (MP GA₃-02/04) to evaluate possible long-term carry-over effects. GA₃ was applied at BBCH 68 (mid-end of bloom, 17th June) in 2002, and at BBCH 65 in 2004, analogous to MP GA₃-02/03/04.

Shoot and inflorescence numbers: To estimate the carry-over effects of GA₃ applications, we counted shoot and inflorescence numbers in the period between bud break and bloom in each year from 2003 to 2005. For all MP treatments, 4 strips of a canopy length of 0.85m each (= planting distance of MP) were chosen at random within the three blocks for measurements because it was impossible to separate individual plants. For VSP we used 10 randomized individual plants.

Cluster structure: Cluster structure was assessed for by determining the ratio of cluster length between the berries most proximal and distal to the peduncle to overall cluster weight (including the peduncle) for 25 clusters of each treatment on two dates in 2002 and 2003.

Berry and seed development, yield and quality parameters: Three field replicates of populations of 100 berries per treatment were collected at intervals of 6 to 14 days in 2002 and 2003 and 20 to 35 days in 2004 to determine berry weight, total soluble solids (TSS), total titratable acidity (TA) and pH from veraison until harvest. Berries were collected from the top, the centre and the bottom part of clusters at approximate equal proportions.

After weighing the berry samples to determine the 100-berry-weight, they were crushed with a household fruit squeezer and filtered (type: 33/N – Ederol, Binzer & Munktell GmbH, Battenberg, Germany). TSS was determined with a handheld refractometer (type: 2556/93, Leo Kübler GmbH, Karlsruhe, Germany). A must sample of 10 mL was used to determine total acidity (expressed as tartaric acid) and pH with an automatic titrator that was coupled to an auto-sampler and a control unit (Titrino 719S, Metrohm AG, Herisau, Switzerland). To assess for GA₃ effects on berry seeds, seed number per berry was counted on a separately collected sample of 100 berries per treatment in October 2002 and 2003.

Glycosyl-glucose (GG) assay and total phenols. The pool size of secondary metabolites was measured twice each year (at mid-ripening and at harvest) with a modified glycosyl-glucose-assay (GG) (WILLIAMS *et al.*, 1995; WERWITZKE, 2003). Three randomized samples per treatment of 50 berries each were collected from different portions of the clusters as described above. The samples were homogenized with an Ultra-Turrax (IKA-Werke, Staufen, Germany) at 24000 rpm in a centrifuge vial. Ten mL of a 50% ethanol in water (v/v) extraction solution were added to an aliquot of 1 g of the homogenate; samples were gently shaken every 5 minutes and were centrifuged after 1hr (7 min, 3500 rpm). Four mL of the supernatant were transferred into a 125 mL Erlenmeyer vial adding 36 mL of distilled H₂O and one drop of hydrochloric acid (HCl) (5M) to adjust to pH 2.25. C₁₈ Sep Pack (solid phase extraction) cartridges

(Waters, Eschborn, Germany) were pretreated with methanol (ca. 10 mL) followed by water (ca. 10 mL) and the sample was loaded onto the cartridge (at 10 kPa pressure). The cartridge was then washed with 50 mL of water and the glycosides were eluted in ethanol (1.5 mL), followed by water (3 mL). The glycoside eluat was adjusted to 5.0 mL with water and two aliquots of 1 mL of the eluat were taken. To one, 3 mL of distilled water were added and maintained at room temperature for 1hr. The other was hydrolyzed with 2 mL 2.25 M sulfuric acid (H_2SO_4) at 100°C for 1 hr. One mL of 8.8 M sodium hydroxide (NaOH) was added to 3 mL of the hydrolyzed sample and the pH maintained at 2.0-2.2 (WERWITZKE, 2003). Of both samples (hydrolyzed and non-hydrolyzed (control)) 0.9 mL were loaded onto the regenerated C_{18} Sep Pack cartridge for pre-conditioning. This was followed up by 3 mL of control and hydrolyzed samples. Of each, 1.5 mL was transferred to a cuvette (1cm), 0.5 mL of distilled water and 1mL 1 mM triethanolamine buffer (pH 7.6) added, and absorbance measured at 340 nm. Glucose was determined enzymatically by adding 20 μL of Hexokinase/Glucose-6-phosphatedehydrogenase (Roche Diagnostics, Mannheim, Germany) and measuring again at 340 nm. The absorbance difference of the control before and after adding the enzyme was subtracted from the absorbance difference of the sample before and after adding the enzyme; and this value was used to determine the concentration of glucose from a standard curve prepared from calibration solutions. The glycoside eluat not processed during the GG-assay, was used to determine total phenolics as catechin equivalents according to FOLIN and DENIS (1912).

Winemaking and sensory evaluation:

Harvesting and winemaking were standardized for all treatments. In brief, all vines per treatment were harvested manually. Grapes were kept separate for each experimental block, then transported in 700 L stainless steel containers to the experimental winery where yield was determined. Between 130 and 150 kg of grapes per treatment were then crushed (System Rauch, Rauch Landmaschinenfabrik GmbH, Sinzheim, Germany) and pressed using a standardized processing procedure with two 380 L content automated membrane presses (Europress EHP 380, Scharfenberger, Bad Dürkheim, Germany). The

must was treated with 40 mg L⁻¹ of sulfurous acid H₂SO₃⁻ and settled for clarification over night (10 to 12 hrs) in 150 L polyethylene tanks. Clarified must was used to determine TSS, acidity and pH as described above. About 70 L of must were inoculated with 20 g hL⁻¹ Oenoferm® Klosterneuburg (*Saccharomyces cerevisiae*) (Erbslöh, Geisenheim, Germany) and racked into two 50 L and 25 L glass-balloons for fermentation under controlled conditions (20-22°C). After fermentation another 100 mg L⁻¹ H₂SO₃⁻ were added and the wines were racked into one 50 L glass-balloon. All wines were protein stabilized with calcium-bentonite (Ca-Granulat, Erbslöh, Geisenheim, Germany) using 300 g hL⁻¹ in 2002 and 200 g hL⁻¹ in 2003. Right before bottling, in March following the respective vintage, wines were cold filtered (Pilot-Z 20*20cm, Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH, Bad Kreuznach, Germany; filter-sheets: EK, Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH, Bad Kreuznach, Germany). Bottles were stored in the dark at 13 to 16°C.

Sensory evaluations were conducted with trained panelists of the Oenology Department. First, all wines were subjected to a repeated discriminating triangle test to detect perceptible differences between two wines. Prior to each test, two bottles of each wine were first homogenized and then separated again into their original bottles. Descriptive evaluations on a scale between 1 and 5 (5 was max.) for the attributes *aroma-intensity*, *sweetness*, *bitterness*, *acidity*, *mouthfeeling*, and *aroma-quality* were conducted in replicate with randomized wine pairs or triplets. Bottle coding, test sheet programming and statistical analyses of all sensory evaluations were done using the software Fizz® for Windows 2.00M (Biosystème, Couternon, France). For all sensory evaluations 'Sensus' wine tasting glasses (Schott Zwiesel Kristallglas AG, Zwiesel, Germany) were used, which were filled up to 0.1 L. Before every tasting session, wines were cool stored at 13°C for one day and moved into the tasting room 15 minutes before tasting.

The 2002 vintage was evaluated in January/February and November 2004 and the 2003 vintage in October 2004 and a second time in July 2005.

Statistics: Aside of the sensory statistics we used linear regressions and analyses of variances (ANOVA, Holm-Sidak-method) for the plant based data,

which were calculated with SigmaStat 3.1 (Systat Software Inc., Point Richmond, CA, USA).

RESULTS AND DISCUSSION

Shoot and inflorescence number: Shoot number recorded in spring was not significantly different between GA₃ treated and non treated MP vines (Fig. 1). MP vines had about 20 times as many shoots on a per m² soil surface basis than VSP vines (Fig. 1). The yearly application of GA₃ between 2002 and 2004 (MP GA₃-02/03/04) caused the total number of inflorescences to decrease from about 46 m⁻² in 2002 (data not shown) to 30 m⁻² in 2003 (Fig. 1A) and further to between 21 and 25 m⁻² in 2004 and 2005 (Fig. 1B-C) indicating a strong effect on bud fertility, long recognized for pruned vines (WEAVER and McCUNE, 1961).

Untreated MP vines had much higher Inflorescence numbers in 2003 and 2004 (Fig. 1A, B) but had low inflorescence numbers in 2005. This may have been due to cool season conditions in 2004 (SRINIVASAN and MULLINS, 1980) and/or excessive yields from 2002 to 2004 (see Fig. 6), where the developing crop may have reduced carbohydrate and nitrogen reserves allocated to the buds and thus reduced bud fruitfulness the subsequent year (MAY, 2004).

When GA₃ application was discontinued in 2003, inflorescence number of the MP GA₃-02/04 treatment partly recovered and had significantly more inflorescences than MP GA₃-02/03/04 in 2004, while numbers were still lower than those of untreated MP vines (Fig. 1B). Fruitfulness of individual VSP shoots was always highest with individual inflorescences being visually larger with a much higher number of individual flowers.

Additional to the reduction in total inflorescence number induced by the GA₃ applications, we visually observed that many inflorescences were smaller, with single branches partly being more tendril-like and with a significantly lower dry weight (WEYAND and SCHULTZ, 2005). This is an indicator for the disrupted balance between cytokinins and gibberellic acid acting on the formation of inflorescence primordia (SRINIVASAN and MULLINS, 1979; SRINIVASAN and MULLINS, 1981). However, GA₃ did not cause bud necrosis symptoms, uneven bud break or phytotoxic effects as observed in other experiments (WEAVER,

1960; ALLEWELDT, 1961; BLAHA, 1963; BRANAS and VERGNES, 1963; ZIV *et al.*, 1981).

Berry growth and cluster structure:

Individual berry weight, which is usually much lower for MP as compared to VSP vines (Fig. 2A), increased in the MP GA₃-02/04 and MP GA₃-02/03/04 treatments by 10%, respectively 28% after the first year of GA₃ application (Fig. 2B). This increase was only significant for the MP GA₃-02/03/04 treatment ($p<0.05$), but berries still remained significantly smaller ($p<0.05$) as compared to VSP. In 2004, average berry weight of VSP fruit was very low as compared to the previous years (Fig. 2A-C) and was not different to the MP GA₃-02/03/04 berries, although their size had not increased as compared to 2003 (Fig. 2B, C). Both the MP and the MP GA₃-02/04 berries were about 20% smaller ($p<0.05$) (Fig. 2C). In the 2005 season (data not shown), all MP treatments (with or without GA₃ application) had between 27-29% smaller berries than VSP, suggesting that GA₃ did not cause a strong long-term compensatory growth response for MP berries.

Seedless cultivars of *Vitis vinifera* generally respond to gibberellin application with an increase in berry size (WEAVER and McCUNE, 1959a; DASS and RANDHAWA, 1967; DOKOOZLIAN *et al.*, 2001), whereas seeded cultivars may not respond at all (WEAVER and McCUNE, 1959b; DASS and RANDHAWA, 1967; REGNER *et al.*, 2002) or form larger (WEAVER and McCUNE, 1959b; DASS and RANDHAWA, 1967) and/or smaller berries (BLAHA, 1963; REGNER *et al.*, 2002). The variety Riesling typically responds to a bloom-time GA₃ application with a large number of shot and small berries (BLAHA, 1963; HILL *et al.*, 2003; ZELT, 2005). Exogenous GA₃ application at flowering has been shown to inhibit pollen germination and pollen growth and to reduce seed number in some varieties (KIMURA *et al.*, 1996). This may explain the significantly reduced seed numbers in berries during the first year of GA₃ application (2002) as compared to the VSP and MP treatments (Fig. 3). Smaller berries have been correlated with smaller seed numbers or size and thus reduced endogenous gibberellin-like activity during berry development (IWAHORI *et al.*, 1968; SCIENZA *et al.*, 1978). However, we observed only a very small and non-significant effect on berry size that year (Fig. 2A).

During the 2003 season, both MP GA₃-02/04 and MP GA₃-02/03/04 had seed numbers per berry which were higher than those from MP vines and similar to those from the VSP treatment, untypical for a GA₃ response of seeded varieties (DASS and RANDHAWA, 1967; BANGERTH and GÖTZ, 1975) (Fig. 3). Only the berry size of the MP GA₃-02/03/04 treatment seemed to respond to the increase in seed number (Fig. 2B). Since MP GA₃-02/04 did not receive a GA₃ application that year but had seed numbers similar to MP GA₃-02/03/04, one explanation for differences in berry development may have been differences in crop load (Fig. 6A). High crop loads induced substantially lower water potentials for the MP and MP GA₃-02/04 treatments as compared to MP GA₃-02/03/04 and VSP during the first period of berry development (WEYAND and SCHULTZ, 2005), when berry growth is particularly sensitive to water status (OJEDA *et al.*, 2001).

Despite the substantial reduction in inflorescence number and some increase in berry weight for GA₃ treated MP vines, the loose structure of the clusters of control MP vines was largely retained (Fig. 4). Cluster compactness was derived from the slope of the regression analysis of cluster weight as a function of cluster length in mid-July and prior to harvest in 2002 and 2003 (Fig. 4A-H). In both years and at both stages, clusters of VSP had the highest slope coefficients of all treatments. This indicated, that clusters were more compact than those of untreated and treated MP vines (Fig. 4A-H), which was related to larger individual berries and to a larger total number of berries per cluster (WEYAND and SCHULTZ, 2005). To achieve loose clusters for better control of bunch rot was one of the primary goals of early experiments with wine grapes of pruned vines (WEAVER and McCUNE, 1959b, WEAVER *et al.*, 1962), where pre-bloom applications proved to be most effective in elongating the rachis and changing grape structure (WEAVER and McCUNE, 1959b). However, in our study, clusters were not elongated (relative late application of GA₃) and the loose cluster structure did not reduce bunch rot for untreated and treated MP vines as compared to VSP.

Berry ripening, yield and must composition:

Sugar accumulation in the berries started latest in 2004 and earliest in 2003 due to seasonal differences (Fig. 5A-C). In 2002 (Fig. 5A) VSP had highest TSS early during ripening, but differences to the other treatments diminished towards harvest (Fig. 5A). There was no effect of GA₃ on TSS and TA (Fig. 5D), likely because yield was comparable to untreated MP vines (Fig. 6A).

In 2003, both GA₃ treatments had similar concentrations of TSS as VSP during the second half of the ripening period, with the MP control being retarded in sugar accumulation (significant at $p<0.05$, Fig. 5B). There was some effect of GA₃ on TA, which was increased in treated MP vines despite higher TSS values and lower yields (Figs. 5E and 6A). This effect was also present in 2004 (Fig. 5F), where TSS accumulation of all MP treatments was retarded as compared to VSP during most of the ripening phase (Fig. 5C). Only the MP GA₃-02/03/04 treatment reached TSS levels comparable to VSP at harvest (VSP and MP GA₃-02/03/04) where significantly different at $p<0.05$ as compared to MP and MP GA₃-02/04).

In general TSS responded to crop load. Between 2001 and 2005, untreated MP vines yielded between 13.6 t ha⁻¹ (2005) and 26.5 t ha⁻¹ (2003) as compared to about 7-13 t ha⁻¹ for pruned VSP vines. When yield was expressed in hl ha⁻¹, MP vines exceeded the crop size permitted by law for the variety Riesling (100 hl ha⁻¹ equivalent to about 12.5 t ha⁻¹) in all years. During the first year of GA₃ application, yield was unaffected (Fig. 6A, arrow) and TSS was lower both in berries and the resulting juice (Fig. 6B). For pruned vines of this cultivar, the GA₃ concentration used (50 ppm) has been shown to be sufficient to reduce yield by about 20-30% (AHMED MUSTAFA, 1989; ZELT, 2005). For MP vines, however, responsiveness may be much more dependent on yield potential and environmental conditions prevailing at the time of application (LOHNAU, 2003). Only the reduction in inflorescence number (and size, data not shown) in subsequent years caused a substantial reduction in yield of GA₃ treated MP vines in our study and only then was TSS increased in berries and the final must (Fig. 5B, 6B). The later treatment date for MP GA₃-02/04 in 2002 may have been responsible for the smaller losses in yield as compared to MP GA₃-02/03/04 in 2003 (Fig. 6A) despite similar reductions in inflorescence numbers (Fig. 1A),

since the degree of GA₃ induced thinning (in the year of application), as well as possible reductions in bud fruitfulness the following year depend on the stage of flowering during which GA₃ is applied (WEAVER and MCCUNE, 1959b; AHMED MUSTAFA, 1989). Continuous GA₃ application brought crop size and TSS close to the level of pruned VSP vines (Fig. 6A, B) (- 55% in 2004 as compared to MP). Even slightly increased berry sizes could not compensate for this effect (see Fig. 2). Interrupting the GA₃ treatment for one year (MP GA₃-02/04) caused yield to recover and TSS to drop to the level of untreated MP vines the next year (Fig. 6A, B), indicating that the effect on bud fruitfulness is rapidly reversible. However, due to the large differences in responsiveness to GA₃ between different cultivars, this is not necessarily to be expected with all seeded cultivars (ALLEWELDT, 1961; SRINIVASAN and MULLINS, 1981).

In most studies on seeded cultivars, TSS levels responded favorable to gibberellins if some control of crop size was achieved (WEAVER and McCUNE, 1959a, 1959b; BANGERTH and GÖTZ, 1975; AHMED MUSTAFA, 1989; HILL *et al.*, 2003). The response of TA, however, is less clear and seems to be variety specific. WEAVER and McCUNE (1959a) found decreasing and unchanged levels of TA, when the varieties Zinfandel and Tokay were treated with a large range of gibberellic acid concentrations. For pruned Riesling vines, TA has also been reported to decrease with increasing concentrations of gibberellic acid (AHMED MUSTAFA, 1989; ZELT, 2005), while for MP vines there was no change (LOHNAU, 2003) or even an increase as in the present study. For untreated MP vines we often observed lower TA levels as compared to VSP even at higher yields, which has also been reported by others (IACONO *et al.*, 1998; REYNOLDS and WARDLE, 2001) and is usually attributed to a better exposure of MP grapes to sunlight (PRICE *et al.*, 1994).

In comparison to other studies on MP and pruned vines, our yield differences are much larger and support the opinion that MP systems need to be crop regulated in cooler climates (POSSINGHAM, 1996). One reason for these yield differences between studies may be related to the Riesling clone used, which has been shown to respond to MP much stronger in yield increase than other clones of the same variety (CLINGELEFFER, 1988).

Glycosyl-Glucose (G-G), total phenols and wine sensory properties:

There is not much information available about the impact of either MP or gibberellic acid treatments on secondary plant metabolites, such as the pool of bound glycosides and phenols, and the possible consequences for the sensory properties of the resulting wines. In the present study, G-G concentration in the berries increased for all treatments during 2002 and 2003 between mid-ripening and harvest but showed no significant differences between treatments (Fig. 7). There was also no difference in the amount of total phenols (expressed as catechin equivalent) with the exception of 2003 at harvest, where both GA₃ treated MP systems had higher values as compared to VSP and MP (Fig. 7D). Other studies have shown a tendency towards higher G-G levels when MP and VSP vines were compared (SCHAIBLE, 2002; WERWITZKE, 2003), but not for every year investigated. Application of gibberellic acid can increase G-G concentration in berries from pruned (SCHAIBLE, 2002) and MP vines (LOHNAU, 2003), but the response is not consistent for all varieties.

We found higher concentrations of phenolics in grapes of treated MP vines as compared to untreated MP and VSP in 2003. This is consistent with observations of AHMED MUSTAFA (1989) and NIKFARDJAM *et al.* (2005) for several varieties including Riesling but the underlying mechanism are still unclear.

A substantial portion of bound glycosides may be phenolic in nature and thus not relevant for the aromatic expression of wines (WERWITZKE, 2003). For Riesling this proportion has been estimated to be between 15 and 25% (ZOECKLEIN *et al.*, 1998), which could indicate, that the increased phenol values at equal G-G concentrations found for GA₃ treated MP vines may reduce overall aromatic expression.

Sensory evaluation of wines by expert panelists using discriminatory triangle tests showed very few differences (Tab. 1). This applied to wines with less than 12 and more than 16 months of bottle storage (bottling in March), respectively, of both observed vintages (2002 and 2003). Of the 2002 vintage, only VSP and MP GA₃-02/04 could be discriminated after 21 months of bottle aging (significant at $p < 0.01$, Tab. 1), while the panelists had no preference for

either one of the wines. Similar to 2002, no significant differences could be detected for wines within the first 12 months of bottle aging for the 2003 season. However, wines of that vintage showed some differences after 16 months, when for example VSP and MP GA₃-02/04 could be discriminated without preferences (Tab. 1). Wines from the GA₃ treatments were generally preferred to wines from the MP treatment indicating that the reduction in yield improved the sensory quality of fruit from MP vines.

Descriptive sensory evaluations were conducted after about 21 months of bottle aging for the 2002 vintage and 28 months of the 2003 vintage (Fig. 8A, B). Differences between the observed attributes were relatively small between all treatments for 2002 (Fig. 8A), with the exception of a significantly higher ($p<0.05$) perception of acidity for the GA₃ treated MP systems (Fig. 8A) which was consistent with the analytical data from the must (Fig. 6C).

When wines from the 2003 vintage were tasted, panelists judged the acidities of MP GA₃-02/04 and VSP to be significantly more dominant than acidities of the MP and MP GA₃-02/03/04 treatment, despite of the fact that VSP had the lowest acidity in the must (Fig. 6C). Aroma quality was significantly preferred for all GA₃ treated MP systems as compared to VSP and MP (Fig. 8B). Simultaneously performed ranking of the wines did not give any significant results (data not shown). Recently, NIKFARDJAM *et al.* (2005) stated that wines from GA₃ treated Riesling and Sauvignon blanc vines (pruned) were fresher, less oxidized and with more varietal character and related this to higher amounts of phenols. They argued, that polyphenols would not only act as antioxidants and thus protecting aroma compounds, but would contribute to mouthfeel and persistence. Although we did not analyze for phenolic composition of the finished wines, berry analyses showed higher amounts of phenols for the MP GA₃-02/03/04 and MP GA₃-02/04 treatments, which may have contributed to preserve varietal aroma during bottle storage.

CONCLUSION

MP vines grown under cool climate and short season growing conditions are very economic to manage, but often yield far beyond standard VSP systems

and permitted quantities for quality wine production. Some of the consequences are delayed ripening and insufficient maturity levels at harvest in some years. The application of gibberellic acid during bloom with the goal to reduce bud fruitfulness in the forthcoming season seems a promising tool to adjust yield and quality of MP vines to levels comparable to the standard VSP system, at least for the variety Riesling. This can be achieved without losing MP typical advantages such as loose clusters and small berries with a high skin to pulp ratio. Current knowledge suggests that applications during bloom every second year are not recommendable since strong alternate bearing effects may be induced. Further investigations should focus on the evaluation of differences in fruit quality within the huge canopy systems of MP vines in order to develop thinning strategies which can be targeted towards canopy zones exhibiting poor fruit quality.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the staff of the Viticulture Department for help with the gibberellic acid applications, Magali Lafontaine for the French translation and the Forschungsring des Deutschen Weinbaus (FDW) for financial support. The support of Prof. Bernd Honermeier, Institut für Pflanzenbau, Universität Gießen, in presenting this work as part of a Ph.D. thesis of K.M. Weyand is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- AHMED MOSTAFA F.M., 1989. Studies on physiological effects of gibberellic acid and ascorbic acid on new interspecific fungus resistant grape varieties. *Dissertation, Universität Bonn*, 139 p.
- ALLEWELDT G., 1961. Weitere Untersuchungen über die sortenspezifische Gibberellinreaktion der Reben. *Z. Pflanzenzücht.*, **45**, 178-193.
- BANGERTH F. and GÖTZ B., 1975. Zur Wirkung von Gibberellinsäure- und Kinetinapplikationen auf Qualität und Ertrag verschiedener Sorten von *Vitis vinifera* L. *Die Wein-Wissenschaft*, **30**, 121-128.

540

541 BLAHA J., 1963 Influence of gibberellic acid on the grapevine and its fruit in
 542 Czechoslovakia. *Am. J. Enol. Vitic.*, **14**, 161-163.

543

544 BRANAS J. and VERGNES A., 1963. Nouvelles observations sur les effets des
 545 gibberellins sur la vigne. *Progr. Agr. Vit.*, **80**, 75-83.

546

547 CARBONNEAU A., 1991. Bilan de résultants d'analyse sensorielle de la qualité
 548 des vins de divers systèmes de conduite. *Riv. Vitic. Enol.*, **4**, 335-344.

549

550 CLINGELEFFER P.R., 1984. Production and growth of minimal pruned Sultana
 551 vines. *Vitis*, **23**, 42-54.

552

553 CLINGELEFFER P. R., 1988. Response of Riesling clones to mechanical
 554 hedging and minimal pruning of cordon trained vines (MPCT) – implications for
 555 clonal selection. *Vitis*, **27**, 87 – 93.

556

557 DASS H.C. and RANDHAWA G.S., 1968. Response of certain seeded *Vitis*
 558 *vinifera* varieties to gibberellin application at post-bloom stage. *Am. J. Enol. Vitic.*,
 559 **19**, 56-62.

560

561 DOKOOZLIAN N.K., EBISUDA N.C. and HASHIM J.M., 2001. Gibberellic acid
 562 bloom sprays reduce fruit set and improve packable yield of 'Autumn Royal' table
 563 grapes. *Journal American Pomological Society*, **55**, 55-57.

564

565 EICHHORN K.W. and LORENZ D.H., 1977. Phänologische Entwicklungsstadien
 566 der Rebe. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.*, **29**, 119-120.

567

568 EMMETT R.W., CLINGELEFFER P.R., WICKS T.J., HALL B., HART K.M. and
 569 CLARKE K., 1994. Canopy management and disease control. *Australian Grape*
 570 *Grower and Wine Maker*, **368**, 22-24.

571

572 FENDINGER A.G., POOL R.M., DUNST R.M. and SMITH R., 1996. Effect of
 573 mechanical thinning minimally-pruned 'Concord' grapevines on fruit composition.
 574 *In: Proc. 4th Int. Symp. Cool Climate Vitic. Enol., Rochester.* Communications
 575 Services, New York State Agricultural Experiment Station Geneva, New York
 576 14456-0462, IV p. 13–17.

577

578 FOLIN O. and DENIS W., 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic
 579 compounds as color reagents. *J. Biol. Chem.* **12**, 239-243.

580

581 HILL G, HILL M. and BUTTERFASS J., 2003. Gibberelline: Kleiner, weniger,
 582 besser? *Das Deutsche Weinmagazin*, **19**, 32-35.

583

584 IACONO F., BARBERA L. and PORRO D., 1998. Prime esperienze di potatura
 585 minima in clima caldo-arido sulla varietà Chardonnay: sviluppo della chioma,
 586 attività di fotosintesi e risultati quanti-qualitativi. *Ital. Hort*, **5**, 3-10.

587

588 IWAHORI S., WEAVER R.J. and POOL R.M., 1968. Gibberellin-like activity in
 589 berries of seeded and seedless Tokay grapes. *Plant Physiol.* , **43**, 333-337.

590

591 KIMURA P.H, Okamoto G. and Hirano K., 1996. Effects of gibberellic acid and
 592 streptomycin on pollen germination and ovule and seed development in Muscat
 593 Bailey A. *Am. J. Enol. Vitic.*, **47**, 152-156.

594

595 LOHNAU P., 2003. Einfluss verschiedener Ertragsregulierender Maßnahmen auf
 596 eine Riesling – Minimalschnittanlage. *Diplomarbeit*, Fachhochschule Wiesbaden,
 597 Studienort Geisenheim, 135 p.

598

599 MARTÍNEZ DE TODA M. M. and SANCHA J.C., 1998. Long-term effects of zero
 600 pruning on Grenache vines under drought conditions. *Vitis*, **37**, 155 – 157.

601

602 MAY P., 2004. Flowering and fruitset in grapevines. Lythrum Press, South
 603 Australia, 119 p.

604

605 NIKFARDJAM M.S.P., GAÁL K., TESZLÁK P., KRECK M. and Dietrich H., 2005.

606 Influence of grapevine flower treatment with gibberellic acid (GA3) on 2-

607 aminoacteophenone (AAP) content and sensory properties of white wine. *Mitt.*

608 *Klosterneuburg*, **55**, 184-190.

609

610 OJEDA H., DELOIRE A. and Carbonneau A., 2001. Influence of water deficits on

611 grape berry growth. *Vitis*, **40**, 141-145.

612

613 OLLAT N., SOMMER K.J., POOL R.M. and CLINGELEFFER P.R., 1993.

614 Quelques résultants sur la taille minimale en Australie et en France. *In: GESCO*

615 *Compte Rendu, Reims, France*, p. 181-183.

616

617 PETRIE P.R., CLINGELEFFER P.R. and KRSTIC M.P., 2003. Mechanical

618 thinning to stabilize yield and improve grape maturity and colour. *Australian &*

619 *New Zealand Grapegrower and Winemaker*, **473a**, 118-120.

620

621 POOL R.M., 1995. Predicting and controlling crops of machine and minimal

622 pruned grapevines. *In Proceedings for the International ATW-Symposium:*

623 *Technik im Weinbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft*

624 *e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany*, 364, p. 11-22.

625

626 POOL R.M., DUNST R.E., CROWE D.C., HUBBARD H., HOWARD G.E. and

627 DEGOLIER G., 1993. Predicting and controlling crop on machine or minimal

628 pruned grapevines. *In: Pruning mechanization and crop control. Proc. 2nd N.J.*

629 *Shaulis Symp. Fredonia, N.Y., U.S.A.*, p. 31-45.

630

631 POSSINGHAM J.V., 1996. Factors affecting the quality of wine from minimal

632 pruned grapevines. *Acta Hort.*, **427**, 387-393.

633

PRICE S.F., SCHUETTE M.L. and TASSIE E., 1995. Measuring incident light on grape clusters using photosensitive paper and image analysis. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **120**, 235-240.

REGNER F., EISENHELD G. and STADLBAUER A., 2002. Versuche zur chemischen Beerenausdünnung bei Reben. *Mitt. Klosterneuburg*, **52**, 3-9.

REYNOLDS A.G. and WARDLE. D.A., 2001. Research Note: Evaluation of minimal pruning upon vine performance and berry composition of Chancellor. *Am. J. Enol. Vitic.*, **52**, 45-48.

RÜHLING W., 1999. Maschinelles Ausdünnen. Ausschuss für Technik im Weinbau Nr. 91, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany, 32 p.

SCHAIBLE H., 2002. Ertragsregulierung im Minimalschnitt mittels Phytohormonen. *Diplomarbeit*, Fachhochschule Wiesbaden, Studienort Geisenheim, 112 p.

SCHULTZ H.R., 2002. Minimalschnittsysteme. Ausschuss für Technik im Weinbau, Bericht 109, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany, 71p.

SCHULTZ H.R., KRAML S., WERWITZKE U., ZIMMER T. and SCHMID J., 2000. Adaptation and utilization of minimal pruning systems for quality production in cool climates. *Am. J. Enol. Vitic.*, **51**, 185-190.

SCIENZA A., MIRAVALLE R., VISAI C. and FREGONI M., 1978. Relationship between seed number, gibberellin and abscisic acid levels and ripening in Cabernet Sauvignon grape berries. *Vitis*, **17**, 361-368.

665 SOMMER K.J., 1995: Mechanisierung des Rebschnittes in Australien. In:
 666 *Proceedings for the International ATW-Symposium: Technik im Weinbau.*
 667 *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL),*
 668 *Darmstadt, Germany 364*, p. 23-50.

669

670 SRINIVASAN C. and MULLINS M.G., 1979. Flowering in *Vitis*: Conversion of
 671 tendrils into inflorescences and bunches of grapes. *Planta*, **145**, 187-192.

672

673 SRINIVASAN C. and MULLINS M.G., 1980. Effects of temperature and growth
 674 regulators on formation of Anlagen, tendrils and inflorescences in *Vitis vinifera* L.
 675 *Ann. Bot.*, **45**, 439-446.

676

677 SRINIVASAN C. and MULLINS M.G., 1981. Physiology of flowering in the
 678 grapevine – A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 32: 47-63.

679

680 WEAVER R.J., 1960. Toxicity of gibberellin to seedless and seeded varieties of
 681 *Vitis vinifera*. *Nature*, **187**, 1135-1136.

682

683 WEAVER R.J. and McCUNE S.B., 1959a. Response of certain varieties of *Vitis*
 684 *vinifera* to gibberellin. *Hilgardia*, **28**, 297-350.

685

686 WEAVER R.J. and McCUNE S.B., 1959b. Effect of gibberellin on seeded *Vitis*
 687 *vinifera* and its translocation within the vine. *Hilgardia*, **28**, 625-645.

688

689 WEAVER R.J. and McCUNE S.B., 1961. Effect of gibberellin on vine behavior
 690 and crop production in seeded and seedless *Vitis vinifera*. *Hilgardia*, **30**, 425-444.

691

692 WEAVER R.J. and POOL R.M., 1971. Chemical thinning of grape clusters (*Vitis*
 693 *vinifera* L.). *Vitis*, **10**, 201-209.

694

695 WEAVER R.J., KASIMATIS A.N. and McCUNE S.B., 1962. Studies with
 696 gibberellin on wine grapes to decrease bunch rot. *Am. J. Enol. Vitic.*, **13**, 78-82.

697

698 WERWITZKE U., 2003. Einfluss der Pflanzenernährung, weinbaulicher
699 Maßnahmen und der mikrobiologischen Rahmenbedingungen auf glykosidisch
700 gebundene Inhaltsstoffe in *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. *Dissertation*, Justus-
701 Liebig-Universität Gießen, 234 p.

702

703 WEYAND K.M. and SCHULTZ H.R., 2005. Physiological responses of minimal
704 pruning systems to gibberellic acid. *Acta Hort.*, **689**, 117-124.

705

706 WILLIAMS P.J., CYNKAR W., FRANCIS I.L., GRAY J.D., ILAND P.G. and
707 COOMBE B.G., 1995. Quantification of glycosides in grapes, juices and wines
708 through a determination of Glycosyl Glucose. *J. Agric. Food. Chem.*, **43**, 121-128.

709

710 ZABADAL T.J., VANEE G.R., DITTMER T.W. and LEDEBUHR R.L., 1996.
711 Evaluation of chemical crop thinning methods for mechanical pruned 'Concord'
712 grapevines. In: *Proc. 4th Int. Symp. Cool Climate Vitic. Enol., Rochester*.
713 Communications Services, New York State Agricultural Experiment Station
714 Geneva, New York 14456-0462, IV p. 18 -23.

715

716 ZELT M., 2005. Der Einsatz von Gibberellinsäure bei verschiedenen Rebsorten
717 im Anbaugebiet Pfalz. *Diplomarbeit*, Fachhochschule Wiesbaden, Studienort
718 Geisenheim, 100 p.

719

720 ZIV M., MELAMUD H., BERNSTEIN Z. and LAVEE S. 1981. Necrosis in
721 grapevine buds (*Vitis vinifera* cv. Queen of Vineyard) II. Effect of gibberellic acid
722 (GA₃) application. *Vitis*, **20**, 105-114.

723

724 ZOECKLEIN B.W., WOLF T.K., DUNCAN S.E., MARCY J.E., and JANSINSKY
725 Y., 1998. Effect of fruit zone removal on total glycoconjugates and conjugate
726 fraction concentration of Riesling and Chardonnay (*Vitis vinifera* L.) grapes. *Am*.
727 *J. Enol. Vitic.*, **49**, 259-265.

Table 1: Results of triangular tests of the experimental wines (Prefer.= preference).

Tasting date	Vintage	Wine A	Wine B	Number of judges (total)	Number of correct judges	Prefer. Wine A	Prefer. Wine B
-	2002	VSP	MP	-	-	-	-
20.02.04	2002	VSP	MP GA ₃ -02/03/04	16	6	3	3
20.02.04	2002	VSP	MP GA ₃ -02/04	16	8	2	6
16.01.04	2002	MP	MP GA ₃ -02/03/04	11	6	6	0
16.01.04	2002	MP	MP GA ₃ -02/04	11	4	2	2
16.01.04	2002	MP GA ₃ -02/03/04	MP GA ₃ -02/04	11	6	4	2
19.11.04	2002	VSP	MP	11	6	3	3
19.11.04	2002	VSP	MP GA ₃ -02/03/04	11	6	3	3
19.11.04	2002	VSP	MP GA ₃ -02/04	11	9**	4	5
18.11.04	2002	MP	MP GA ₃ -02/03/04	10	4	3	1
18.11.04	2002	MP	MP GA ₃ -02/04	10	3	2	1
18.11.04	2002	MP GA ₃ -02/03/04	MP GA ₃ -02/04	10	1	0	1
07.10.04	2003	VSP	MP	13	6	2	4
07.10.04	2003	VSP	MP GA ₃ -02/03/04	13	7	4	3
07.10.04	2003	VSP	MP GA ₃ -02/04	13	5	4	1
07.10.04	2003	MP	MP GA ₃ -02/03/04	13	6	4	2
07.10.04	2003	MP	MP GA ₃ -02/04	13	6	5	1
07.10.04	2003	MP GA ₃ -02/03/04	MP GA ₃ -02/04	13	6	2	4
29.07.05	2003	VSP	MP	11	4	2	1
29.07.05	2003	VSP	MP GA ₃ -02/03/04	11	2	1	1
29.07.05	2003	VSP	MP GA ₃ -02/04	11	7*	4	3
29.07.05	2003	MP	MP GA ₃ -02/03/04	11	8**	0	8
29.07.05	2003	MP	MP GA ₃ -02/04	11	6	1	5
29.07.05	2003	MP GA ₃ -02/03/04	MP GA ₃ -02/04	11	7*	4	3

*, ** = significant differences at $p < 0.05$, $p < 0.01$, respectively.

Figure legends:

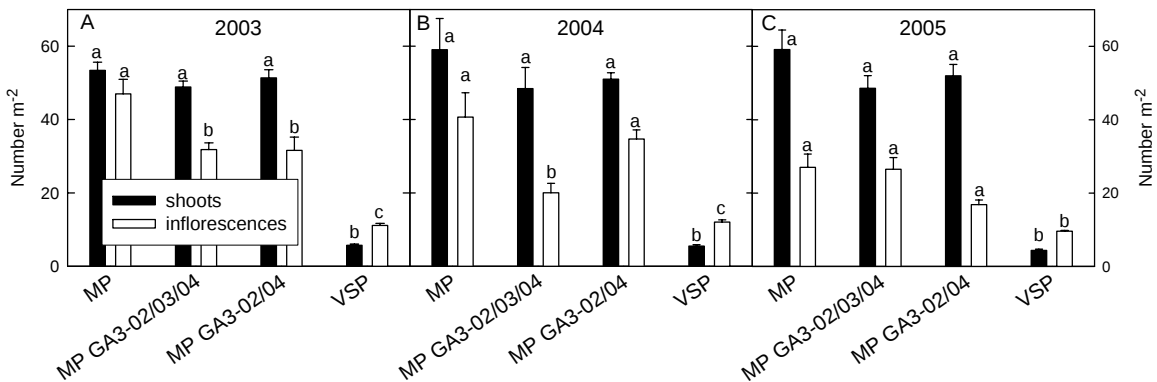


Fig. 1: Shoot and inflorescence number of MP, MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04 and VSP 'Riesling' grapevines for the seasons 2003 to 2005. Bars denote the average shoot and cluster numbers m⁻² of soil surface area $\pm$ SE from four replicated planting distances (0.85m) for all MP treatments and ten entire vines for the VSP treatment, respectively. Bars with different letters indicate significant differences at the $p < 0.01$ level.

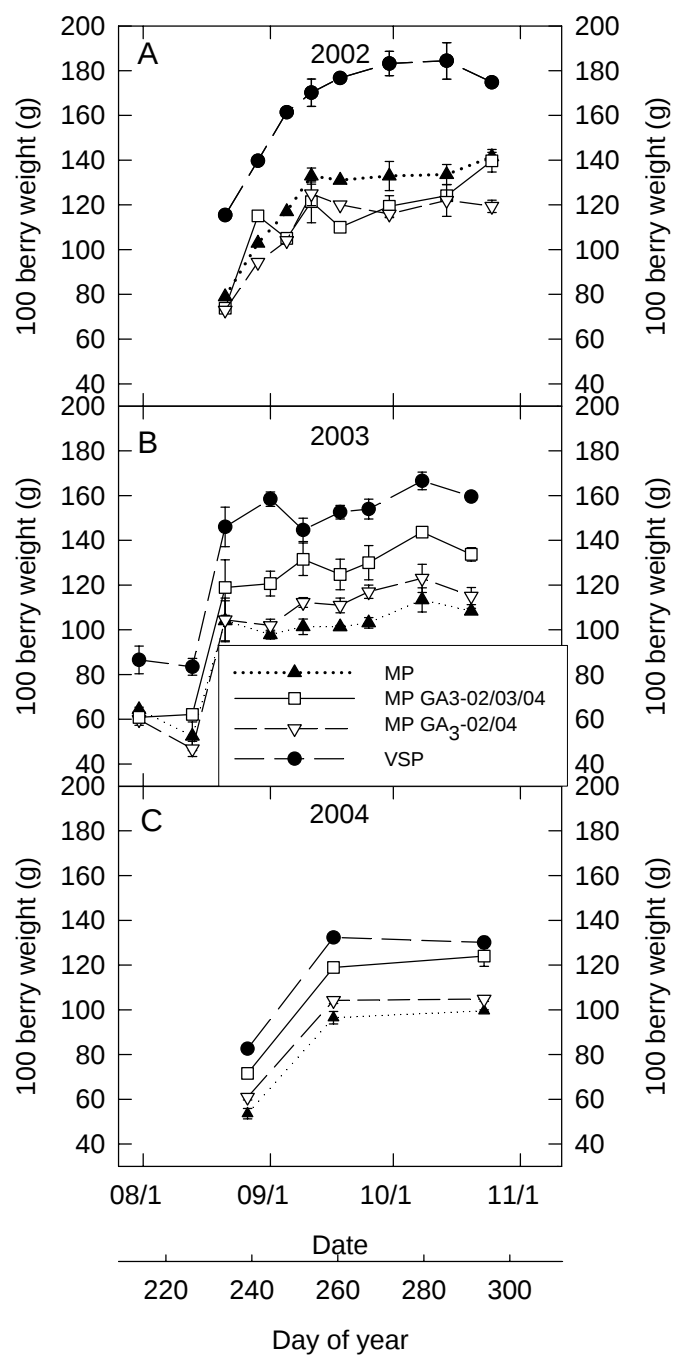


Fig. 2: Changes in berry weight of MP, MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04, and VSP 'Riesling' grapevines during ripening for the seasons 2002 to 2004. Data represent the means of three 100 berry populations $\pm$ SE.

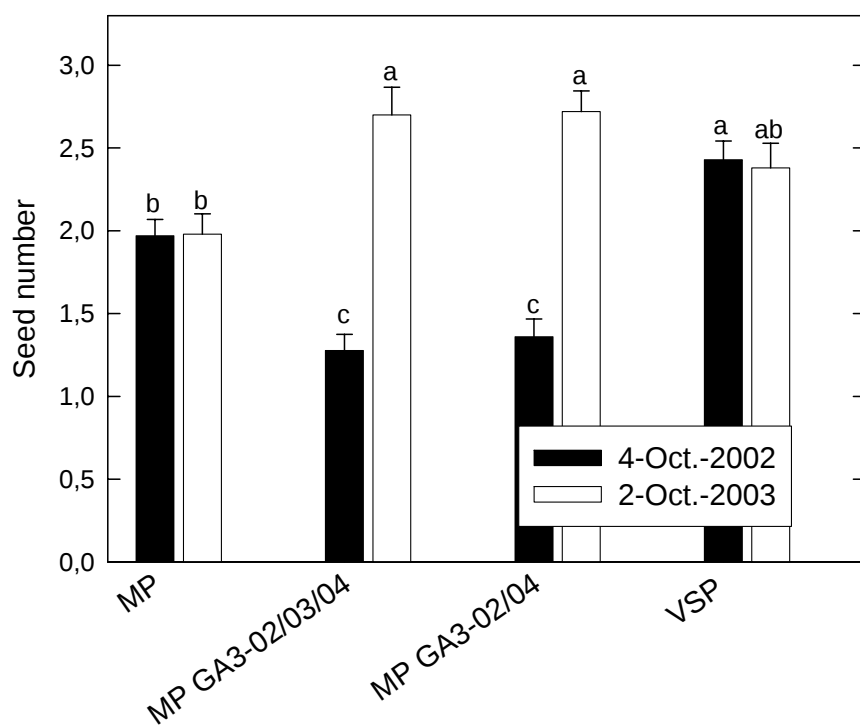


Fig. 3: Effect of pruning system and gibberellic acid on seed number per berry of randomized berry populations of MP, MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04, and VSP 'Riesling' grapevines for the seasons of 2002 and 2003. Data are the mean $\pm$ SE (n = 100).

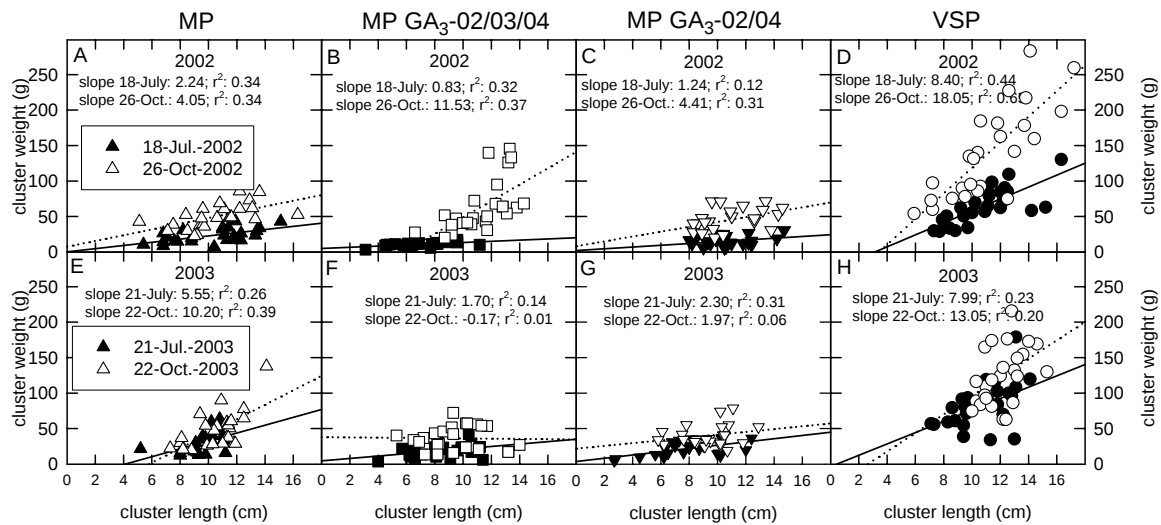


Fig. 4: Effect of pruning system and gibberellic acid on the cluster weight to cluster length ratio of randomized populations ($n = 25$) for clusters of MP, MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04, and VSP 'Riesling' grapevines collected in July and at harvest in October in 2002 (upper panel) and 2003 (lower panel). The slopes of the linear regressions express the average degree of compactness for the cluster populations. Higher slopes denote a greater compactness.

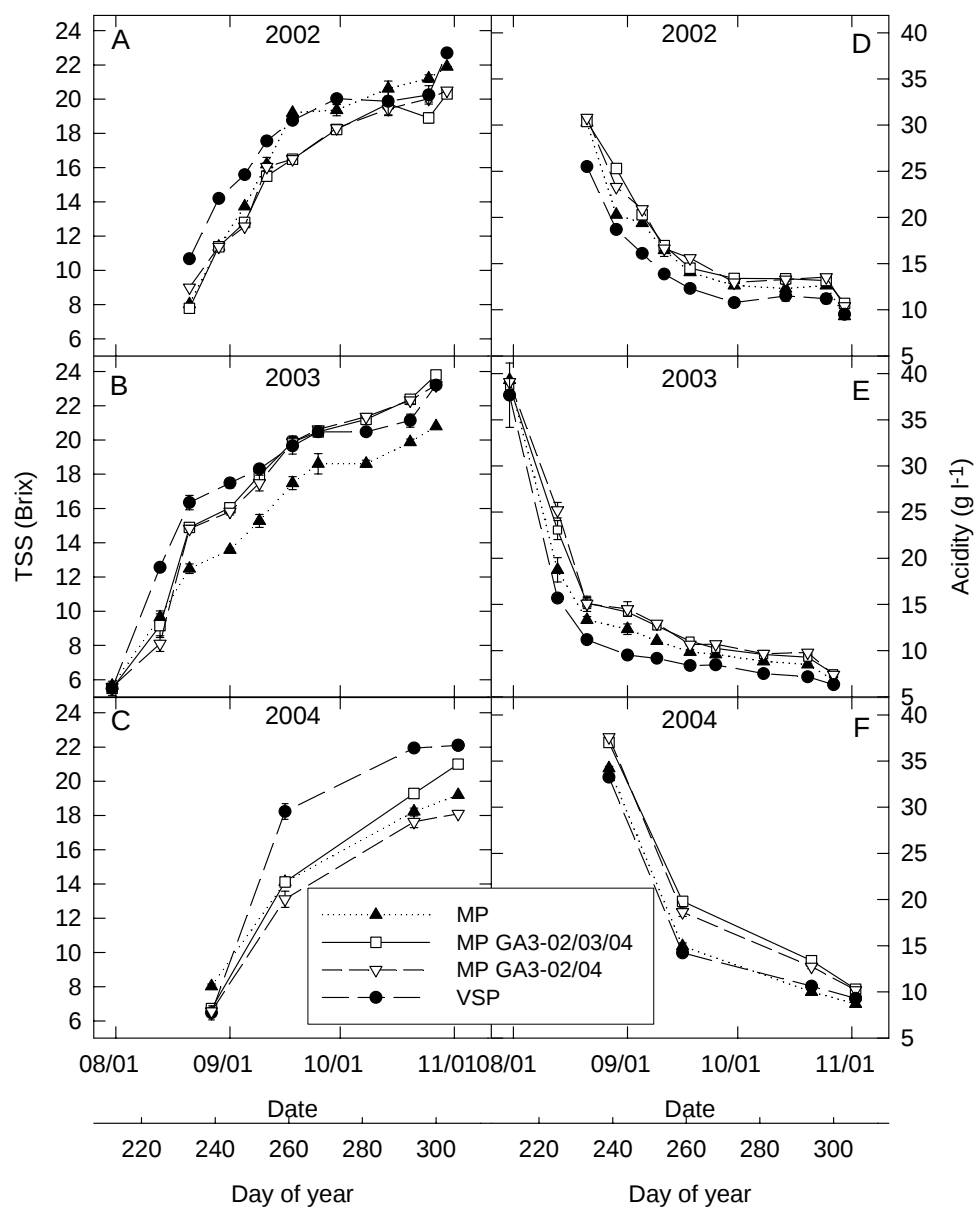


Fig. 5: Total soluble solids, TSS (A-C), and total titratable acidity (D-F) of three 100 berry samples of MP, MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04, and VSP 'Riesling' grapevines during ripening for the seasons 2002 to 2004. Data represent means $\pm$ SE.

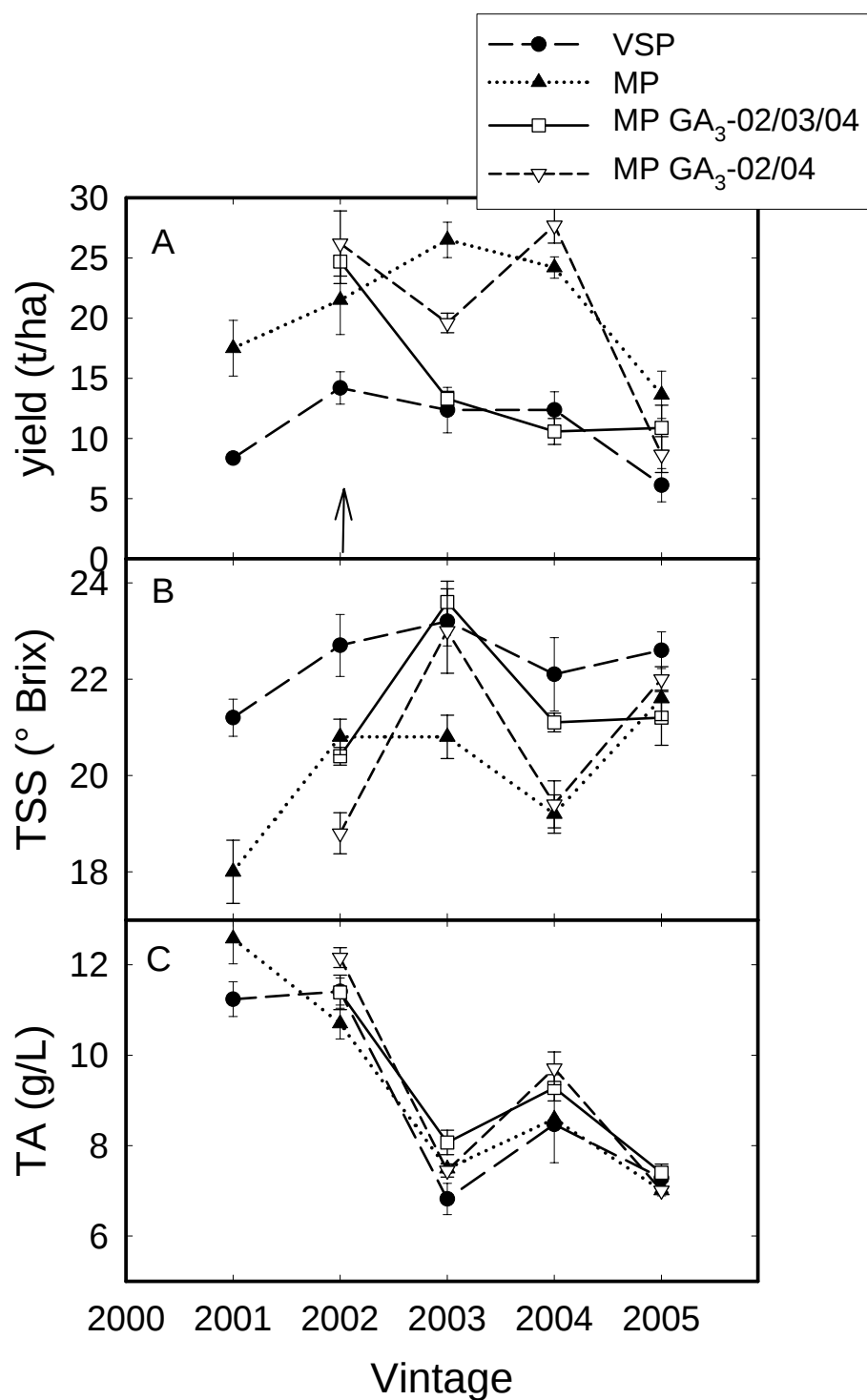


Fig. 6: Total yield (A), and juice TSS (B), and TA (C) of MP, MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04, and VSP 'Riesling' grapevines during the course of 5 seasons (2001-2005). Data represent means of three field blocks $\pm$ SE . Arrow in panel A indicates the first application of GA₃.

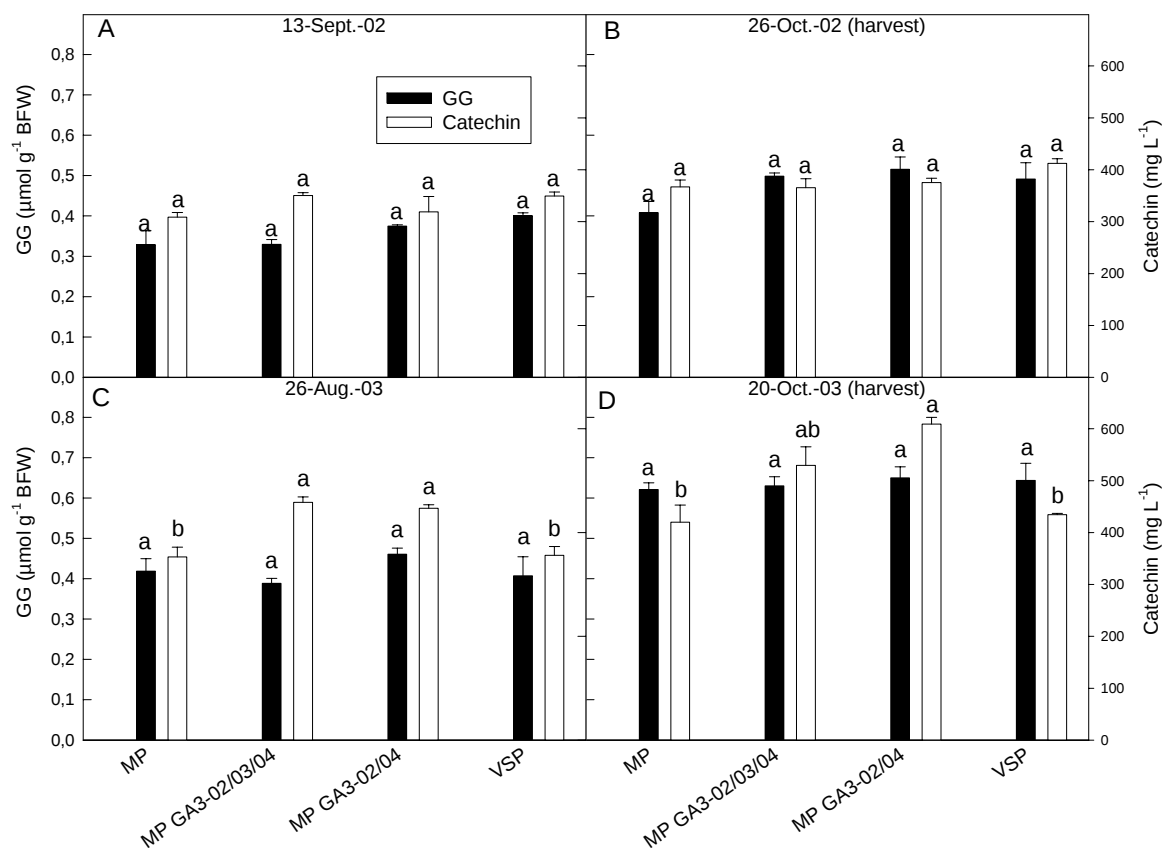
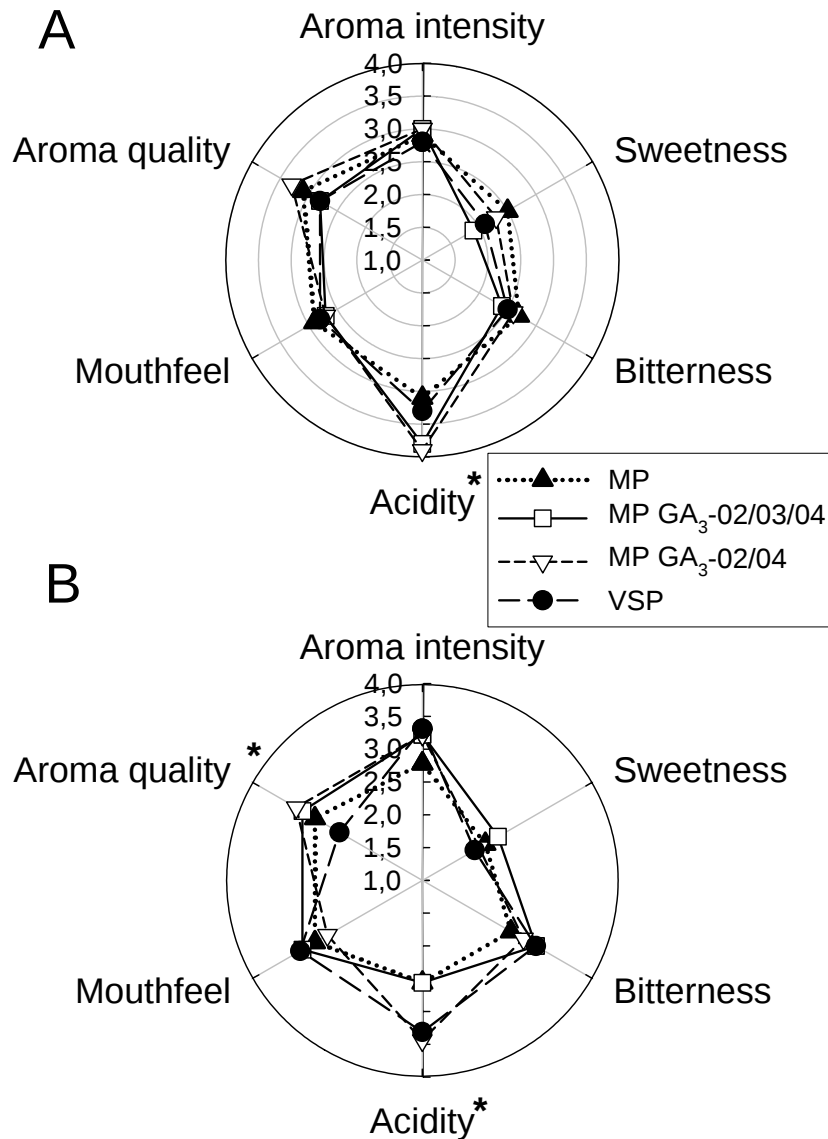


Fig. 7: Glycosyl-glucose (G-G) per unit of berry fresh weight (BFW) and total phenols expressed as Catechin equivalents in berries from MP, MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04, and VSP 'Riesling' grapevines at mid-ripening and at harvest in 2002 (A - B) and 2003 (C – D). Data are the means of three field and two lab repetitions of randomized populations of 50 berries each $\pm$ SE. Bars with different letters indicate significant differences at the $p < 0.05$ level.



774

775 Fig. 8: Descriptive analyses of wines elaborated from grapes of MP, MP GA₃-
 776 02/03/04, MP GA₃-02/04, and VSP 'Riesling' grapevines. A: vintage 2002,
 777 sensory evaluation on 18.-Nov.-2004 (n = 10); B: vintage 2003, sensory
 778 evaluation on 28.-Jul.-2005 (n = 11). * denotes significant differences at the $p <$
 779 0.05 level (description in the text).

3 Diskussion

In den vorangegangenen Kapiteln und Manuskripten wurden Fragestellungen, Probleme sowie deren Lösungsansätze bezüglich des Konzeptes von MP in Mitteleuropa an der Rebsorte Weißer Riesling dargestellt, experimentell bewertet und diskutiert.

Die folgenden Abschnitte stellen gewonnene Ergebnisse und Erkenntnisse teils in Kombination mit einigen weiteren in den jeweiligen Veröffentlichungen aus Gründen des Umfangs nicht enthaltenen Ergebnissen zusammenfassend dar. Es werden Rückschlüsse auf die Bedeutung für und Auswirkungen auf Reben, Weinbau sowie Trauben- und Weinqualität bei der Anwendung des Konzeptes eines minimalen Rebschnittes gezogen.

3.1 Langjährige Reservestoffdynamik, Nachhaltigkeit

Die Möglichkeit einer nachhaltigen Traubenproduktion mittels minimaler Schnittmethoden in Mitteleuropa wurde in der Vergangenheit aus verschiedenen Gründen in Frage gestellt. Eine in Bezug auf den Reservestoffmetabolismus minimal bzw. ungeschnittener Reben verringerte Nachhaltigkeit war für diese Hypothese von großer Bedeutung (Schultz *et al.* 2000).

Für heiße, jedoch bewässerte Regionen konnte gezeigt werden, dass die langjährige Anwendung des MP-Konzeptes nicht zu gravierenden nachteiligen Entwicklungen in Bezug auf den Reservestoffhaushalt der Reben führt (Rühl und Clingeffer 1993, Sommer 1995).

Im Gegensatz hierzu wurde für ein gemäßigtes Klima mit kurzen Vegetationsperioden vermutet, dass sich kühlere Temperaturen bei gleichzeitig geringen Niederschlägen, der Anbau spätreifender Rebsorten sowie eine geringe Zeitspanne zur Auffüllung des Reservestoffpools zwischen Ernte und Blattfall negativ auf die nachhaltige Leistung von MP auswirken könnten. In Verbindung mit MP-typischen Merkmalen (gesteigerte Mengenerträge, Blattflächen und Wasserverbrauch, verringertes Blatt/Frucht-Verhältnis, verzögerte Reife, gesteigerter Trockenstress) wurde angenommen, dass sich dies ungünstig auf essentielle Reservestoffe auswirkt.

Eine verstärkte Beanspruchung und verminderte Bildung der essentiellen Reserven Stickstoff und Kohlehydrate über die Dimension Zeit nach erfolgter Umstellung von VSP auf MP mit geringeren Konzentrationen im Holzkörper vermögen die Nachhaltigkeit der

betroffenen Pflanzen in vielfältiger Weise zu beeinflussen (Winkler und Williams 1945, Scholefield *et al.* 1978, Yang und Hori 1980, Koblet und Perret, 1985, Loescher *et al.* 1990, Candolfi-Vasconcelos *et al.* 1994, Murisier 1996, Williams 1996, Cheng *et al.* 2004, Zapata *et al.* 2004). Gegebenfalls kann es an betroffenen Pflanzen zu Rückgangerscheinungen kommen.

Im Rahmen der Ergebnisse vorliegender Untersuchungen konnten frühere Daten des Reservestoffhaushaltes geschnittener Reben unter den Bedingungen des Rheingaus weitgehend bestätigt werden (Löhnertz 1988, Schaller *et al.* 1989, Korkas *et al.* 1994a, Korkas *et al.* 1994b, Korkas *et al.* 1996a, Korkas *et al.* 1996b, Korkas *et al.* 1999).

Die ursprüngliche Hypothese einer gegenüber geschnittenen Reben verringerten Nachhaltigkeit in Bezug auf den Reservestoffmetabolismus von MP in gemäßigten Klimaten wurde anhand der vorliegenden Untersuchungen weitgehend widerlegt.

In den seit dem Winter 1995/96 minimal geschnittenen Reben auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg kam es in dem Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2003 (Stickstoff) bzw. 2001 bis 2003 (Trockensubstanzgehalt sowie nicht-strukturelle Kohlehydrate) zu keinen maßgeblichen analytischen Veränderungen der untersuchten Reservestoffe im Vergleich zu standardmäßig geschnittenen Reben. Weiterhin konnten bei MP kein Leistungsabfall oder morphologische bzw. physiologische Änderungen der Pflanzen beobachtet werden.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2003 zeigte sich für MP unter den kühlen Anbaubedingungen Mitteleuropas eine mit leicht größeren Amplituden versehene sonst jedoch analoge Stickstoffdynamik innerhalb der Vegetation im Vergleich zu VSP.

Entgegen den ursprünglichen Erwartungen wies MP mehrheitlich mit bis zu $>0.7\%$ N im Holzkörper höhere Maxima in der Zeitspanne der Dormanz bis zum Austrieb gegenüber VSP auf. Auch während der Vegetation konnten bei MP vielfach signifikant oder tendenziell höhere Gehalte an N im Holzkörper im Vergleich zu VSP gefunden werden. Zu beachten war hierbei zusätzlich, dass auf Basis der gesamten Pflanze die oberirdische Trockenmasse von MP und damit auch die absolute Stickstoffreserve in oberirdischen Organen deutlich über der von VSP liegt.

Als Grund für diesen unerwarteten Befund tendenziell höherer Gehalte an N und geringfügig größerer Amplituden zwischen jährlichem Maxima (Dormanz bis Austrieb) und jährlichem Minima (Blüte bis Reifebeginn) mag u. a. eine deutlich höhere Dynamik in der Blattflächenentwicklung bei MP dienen.

Die durchschnittliche Blattfläche bei MP lag im Schnitt der Jahre bei etwa 12 m² je Rebe und bei VSP bei ca. 3.6 m². Diese verteilt sich bei MP auf deutlich mehr Triebe mit geringeren Blattflächen je Trieb. Wegen der höheren Anzahl an Vegetationspunkten bildet sich bei MP unmittelbar zu Beginn der Vegetation eine größere Blattfläche. Gerade für und während des Austriebs finden Reserven starke Verwendung (Conradie 1980, Tromp 1983, Löhnertz 1988, Cheng *et al.* 2004). Der Reservegehalt an Stickstoff bei MP nimmt entsprechend stärker ab. Gleichzeitig stellt eine höhere Blattfläche bei MP einen höheren potentiellen Pool von N dar, wenn es infolge natürlicher oder stressbedingter Seneszenz (Sommer 1995) zum Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen und zu einer Rückverlagerung und damit Reservenbildung in perennierendem Gewebe kommt (Cote und Dawson 1986).

Daneben können auch Stickstoffverluste durch den Blutungssaft bei einem winterlichen Schnitt von VSP für dessen geringere Gehalte im verholzten Gewebe zum phänologischen Zeitpunkt des Austriebs zum Tragen kommen (Glad *et al.* 1992).

Obwohl Wurzelsystem und Gehalt an N der Wurzeln in dieser Arbeit nicht untersucht werden konnten, kann eine verstärkte Mobilisierung von Reserve-N aus dem Wurzelsystem zur Deckung des oberirdischen Bedarfs sowie zur Aufrechterhaltung der Nachhaltigkeit dienen. Dies würde die meist über sämtliche Holzfraktionen und alle Jahre zu beobachtenden höheren Konzentrationen an N für MP zum Zeitpunkt des Austriebs erklären und auch den folgenden starken Abfall verursacht durch den hohen Bedarf der sich entwickelnden vegetativen Masse und die Ausschöpfung der Reserven aus Holzkörper und Wurzelsystem (Zimmer 1998).

Hierbei kann einem eventuell besser entwickeltem Wurzelsystem bei MP (Sommer 1995) mit größeren absoluten N-Reserven für den jährlichen Aufwuchs eine wesentliche Bedeutung zukommen.

Ein über die Jahre zunehmender Trockenstress, der bei MP generell stärker ausgeprägt war als bei VSP, hatte einen Einfluss auf den Stickstoffgehalt des Holzes beider Systeme. Zum zweiten ‚Peak‘ der Stickstoffaufnahme (Reifebeginn, Löhnertz 1988) konnte im Verlauf von 1999 bis 2003 tendenziell ein geringerer N-Gehalt der einzelnen Holzfraktionen festgestellt werden. Verursacht wurde dies wahrscheinlich von einer durch die trockene Witterung und einer geringen Verfügbarkeit an Wasser (Lösungsmittel) herabgesetzten Aufnahme an Stickstoff (Falcetti *et al.* 1995). Hierbei lassen sich im Vergleich höhere Gehalte an N im Holz von MP durch eine wegen des größeren Trockenstressses verursachte frühere Blattseneszenz in Verbindung mit einer

Rückverlagerung von N aus betroffenen Blättern in den perennierenden Teil der Rebe annehmen (Yang und Hori 2001). Auswirkungen dieser Feststellungen auf die Nachhaltigkeit in Bezug auf vegetative oder generative Merkmale beider Systeme zeigten sich über den Untersuchungszeitraum hingegen nicht.

Der Verlauf einzelner Kohlehydrate der nach Alter fraktionierten Holzproben sowie deren Trockensubstanzanteile folgte in beiden Systemen analog. Das Muster des Verlaufs ist weitgehend mit Daten der Literatur konsistent (Winkler und Williams 1945, Swanson und El-Shishiny 1958, Eifert *et al.* 1961, Scholefield *et al.* 1978, Korkas 1994, Williams 1996, Hamman *et al.* 1996, Kühn *et al.* 1999, Bates *et al.* 2002, Zapata *et al.* 2004). Da die Konzentrationen an Gesamtkohlehydraten bei MP insgesamt lediglich tendenziell unter den Gehalten zu VSP lagen, ist von bedeutend mehr Kohlehydraten auf der Basis einer gesamten Pflanze bei MP auszugehen. Dies liegt im Gegensatz zu einer Studie von Rühl und Clingeffer (1993) in dem umfangreicheren Holzkörper von MP in der vorliegenden Studie und damit deutlich erhöhten Trockenmasse auf der Basis einer gesamten Pflanze gegenüber geschnittenen Vergleichsreben begründet (Sommer 1995).

Geringere Werte an Kohlehydraten zu Beginn und gegen Ende der Vegetation bei MP lassen sich mit einem höheren Bedarf an diesen Energieträgern durch die höhere Anzahl an Vegetationspunkten (Glad *et al.* 1992) bzw. wegen eines erhöhten Bedarfs der größeren Masse regenerativen Gewebes erklären (Loescher *et al.* 1990). Unter der Annahme eines besser ausgebildeten Wurzelsystems für MP (Sommer 1995), kann dieses als Speichergewebe für Reserven den absoluten Pool der Pflanze an Kohlehydraten erhöhen und die Nachhaltigkeit stützen. Allerdings kann das Wurzelsystem zu Zeiten eines verstärkten Wurzelwachstums (Freeman und Smart 1976), die mit geringeren Gehalten an Kohlehydraten bei MP im Verhältnis zu VSP zusammen treffen, auch als ‚sink‘ (Williams 1996, Bates *et al.* 2002) fungieren. Während dieser Zeitspannen findet eine verstärkte Reserveneinlagerung (Korkas 1994, Zapata *et al.* 2004) sowie eine erhöhte Respiration der Wurzeln (Lambers *et al.* 2002) statt. Diese Beziehungen können die Gehalte an Reserven in oberirdischem Gewebe von MP entsprechend stärker schmälern und tragen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu den tendenziell leicht geringeren Gehalten nicht-strukturell festgelegter Kohlehydrate sowie Stärke des oberirdischen Holzkörpers von MP bei.

Darüber hinaus zeigten saisonale Umweltbedingungen in vorliegender Studie einen größeren Einfluss auf die Gehalte an Kohlehydraten als das Anbausystem als solches. Über den Beobachtungszeitraum von 2001 bis 2003 nahm der Trockenstress im

Ganzen für beide Systeme zu. Dieser Befund war bei MP stärker ausgeprägt. Der Trockenstress hat zu deutlichen Beeinträchtigungen des Gaswechsels geführt (Vgl. 3.2), so dass den Pflanzen weniger Assimilate für deren Metabolismus und die Versorgung verschiedener ‚sinks‘ (sowohl generativer als auch vegetativer Wuchs) zur Verfügung standen. Eine stärkere Beanspruchung und verringerte Bildung von eingelagerten Reserven kann hieraus folgen (Candolfi-Vasconcelos *et al.* 1994). Wegen des größeren Stresses und höherer Erträge („sink“) mag dieses Phänomen bei MP stärker zum Vorschein gekommen sein. Ein Zusammenhang dieser Tatsache mit sich über die Dimension Zeit verringernden Gehalten an Stärke und Gesamtkohlehydraten beider Systeme vor allem für die einjährige Holzfraktion während trockener Sommermonate ist anzunehmen.

Die suboptimalen Wachstumsbedingungen und steigender Trockenstress führten nicht zu einem Überschuss an Kohlehydraten, der als Reserve in den Holzkörper eingelagert wurde, wie dies in warmen Klimaten bei Bewässerung und längeren Perioden zwischen Ernte und Blattfall gegeben ist (Mooney und Gartner 1991). In Verbindung mit kurzen Perioden zwischen Ernte und Blattfall in einem kühlen Klima und beim Anbau spätreifender Sorten führt dies zu geringeren Konzentrationen an Kohlehydraten in Vergleich zu warmen und bewässerten Anbaugebieten mit langen Intervallen von Ernte bis Blattfall (Winkler und Williams 1945).

3.2 Lichtinterzeption, Gaswechsel, Kohlenstoffbilanz

Blattflächenentwicklung und Laubwandstruktur von MP unterschieden sich in beiden untersuchten Jahren (2002 und 2003) grundsätzlich von VSP (vgl. Abb. 2, 3, 6).

Aufgrund der Vielzahl vorhandener einjähriger Triebe mit entsprechender Zahl an Winterknospen für MP entwickelte sich hier die Blattfläche mit beginnender Vegetation wesentlich zügiger als für VSP. Die beschleunigte Blattflächenentwicklung in Verbindung mit einer höheren Anzahl an Trieben führte zu etwa der 3-fachen Blattfläche je Pflanze und Standraum bei MP im Schnitt der Vegetation. Diese Befunde decken sich mit der umfassend vorhandenen Literatur anderer Weinbauregionen (Clingeffer 1984, Downton und Grant 1992, Sommer *et al.* 1993, Lakso *et al.* 1996, Martínez de Toda und Sancha 1998, Intrieri *et al.* 2001), wobei es für geschnittene Reben anderer Regionen wegen eines meist unterlassenen Grünschnittes häufig zu geringeren Differenzen der maximalen Blattfläche je Pflanze zwischen VSP und MP kommt (Lakso *et al.* 1996, Intrieri *et al.* 2001).

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf der erstmaligen Quantifizierung der durch die differenzierte Blattflächenentwicklung beeinflussten Lichtinterzeption in einer nördlichen Anbauregion. Zu diesem Zweck wurde das Verfahren der Messung des durch die Laubwände des jeweiligen Systems auf den Boden einer Rebasse zwischen zwei Rebzeilen fallenden Lichtes im Verhältnis zu dem von außen auf das System einfallenden Lichtes über ein Rastergitter von insgesamt 7.0 m² Bodenoberfläche bei 2.5 m Zeilenlänge und 2.8 m Distanz über die Zeile mittels eines Ceptometers entwickelt (Manuskript II: Material and Methods; hier: Abb. 9). Dies erlaubte es erstmalig die Lichtinterzeption in hochauflösender Form für beide Systeme darzustellen.



Abb. 9: Links: Zur Messung ausgerichtetes Ceptometer auf einem der Rastergitter. Mitte: An einem Rastergitter befestigte Halterung mit oben aufgesetztem externen Lichtsensor. Rechts: Im System MP an repräsentativen Stellen in der Rebasse zwischen zwei Rebzeilen zur Erfassung der Lichtinterzeption angebrachte Rastergitter A und B.

An allen vier untersuchten Tagen des Jahres 2002 ergaben sich beträchtliche Differenzen zwischen MP und VSP bei einzelnen Messdurchgängen innerhalb eines Tagesverlaufs. Beispielhaft sei hier der Tagesverlauf am 18. Juni 2002 ('Gescheine voll entwickelt, Einzelblüten spreizen sich'; BBCH 57 (Eichhorn und Lorenz 1997)) dargestellt (Abb. 10.1-4: Messdurchgänge 8:30-13:00; Abb. 11.5-8: Messdurchgänge 13:40-19:15).

Beim ersten Messdurchgang (Abb. 10.1; 8:30-9:00 Uhr MESZ) zeigte sich aufgrund des niedrigem Sonnenstandes zu dieser frühen Tageszeit für beide Systeme eine relativ hohe Interzeption des von außen auf die Laubwände einfallenden Lichtes von 75.8 % für MP bzw. 55.9 % für VSP. Zu einem geringen Anteil kann die Differenz der Lichtinterzeption zwischen beiden Systemen von nahezu 20 % auf den vermehrten Altholzanteil der noch nicht voll entwickelten Laubwände bei MP zurückgeführt werden. Der überwiegende Anteil jedoch wurde von der sich bis zu diesem phänologischen Stadium bei MP vermehrt entwickelten Blattfläche verursacht. Im Laufe des Tages nahm die Lichtinterzeption bis zum Höchststand der Sonne bei beiden Systemen kontinuierlich ab (Abb. 11.5, Abb. 11.6). Minima der Interzeption im Tagesverlauf konnten bei MP und VSP bei den Messdurchgängen 5 (13:40 MESZ) und 6 (15:40-16:10 MESZ) festgestellt werden. Hier ergaben sich für MP Werte der Interzeption von 52.4 und 55.5 % und bei VSP von 25.3 und 26.4 %. Die Differenz von bis zu 29 % bei am Zenit stehender Sonne wurde dabei von der breiteren horizontalen Raumausdehnung von MP im Vergleich zu VSP verursacht.

Im Anschluss an das Minimum der Interzeption bei einem hohen Sonnenstand folgte bei absteigender Sonne eine kontinuierliche Zunahme der Lichtinterzeption der Laubwände beider Systeme hin zu vergleichbaren Interzeptionswerten wie zu Beginn des Tages (Abb. 11.7-8).

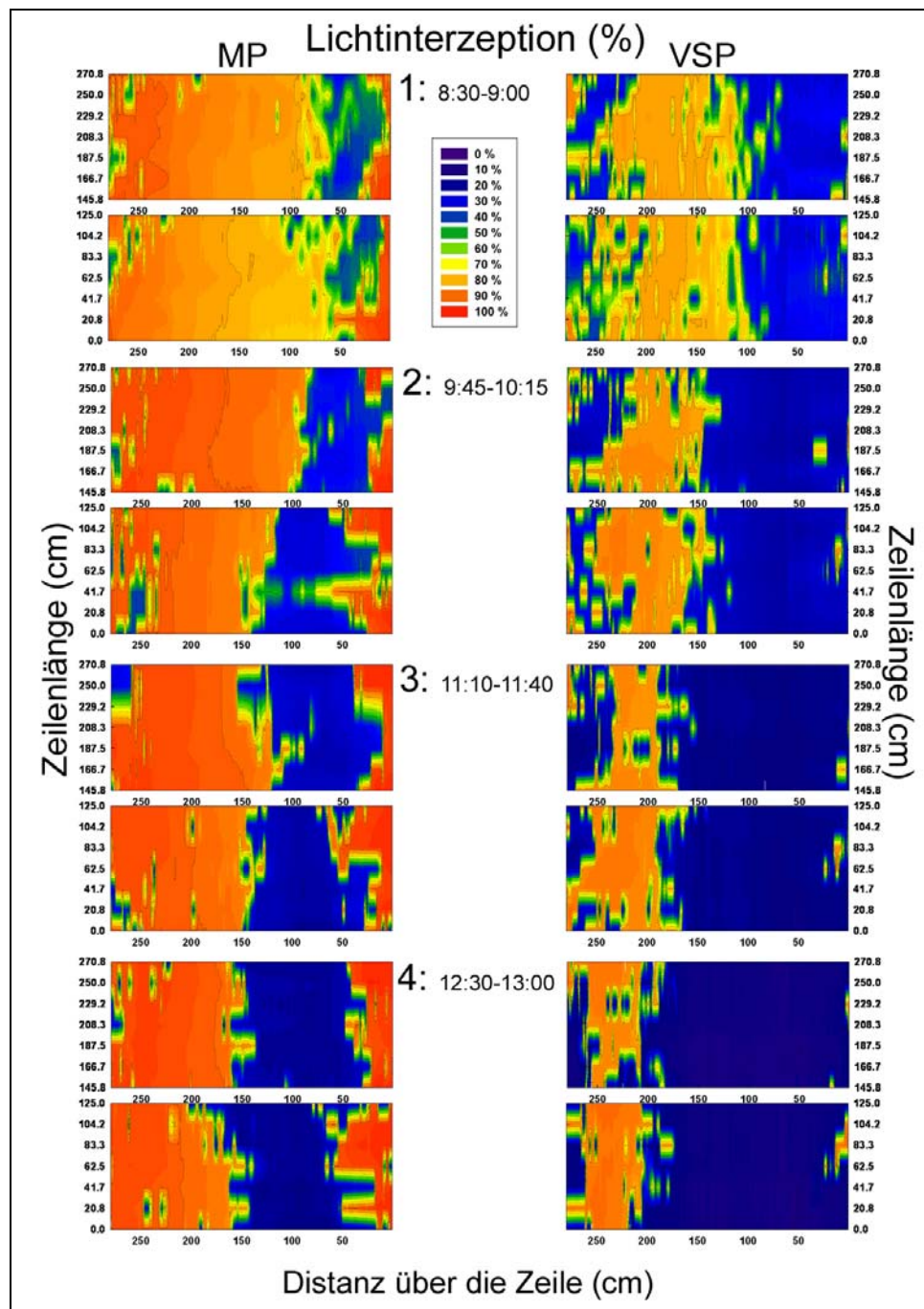


Abb. 10: Räumliche und temporäre Änderung (Uhrzeiten in MESZ) der Lichtinterzeption von Rastergitter A (jeweils untere Hälfte) und B (jeweils obere Hälfte) für MP (linke Seite) und VSP (rechte Seite) zu vier untersuchten Messdurchgängen am Vormittag und zur Mittagszeit des 18. Juni 2002. Jedes der beiden Rastergitter deckt die gesamte Zeilenbreite von 280 cm bei einer Zeilenlänge von je 125 cm ab. Dies entspricht insgesamt 3920 Datenpunkten bei einer abgebildeten Bodenoberfläche von 7.0 m² je System und Messdurchgang.

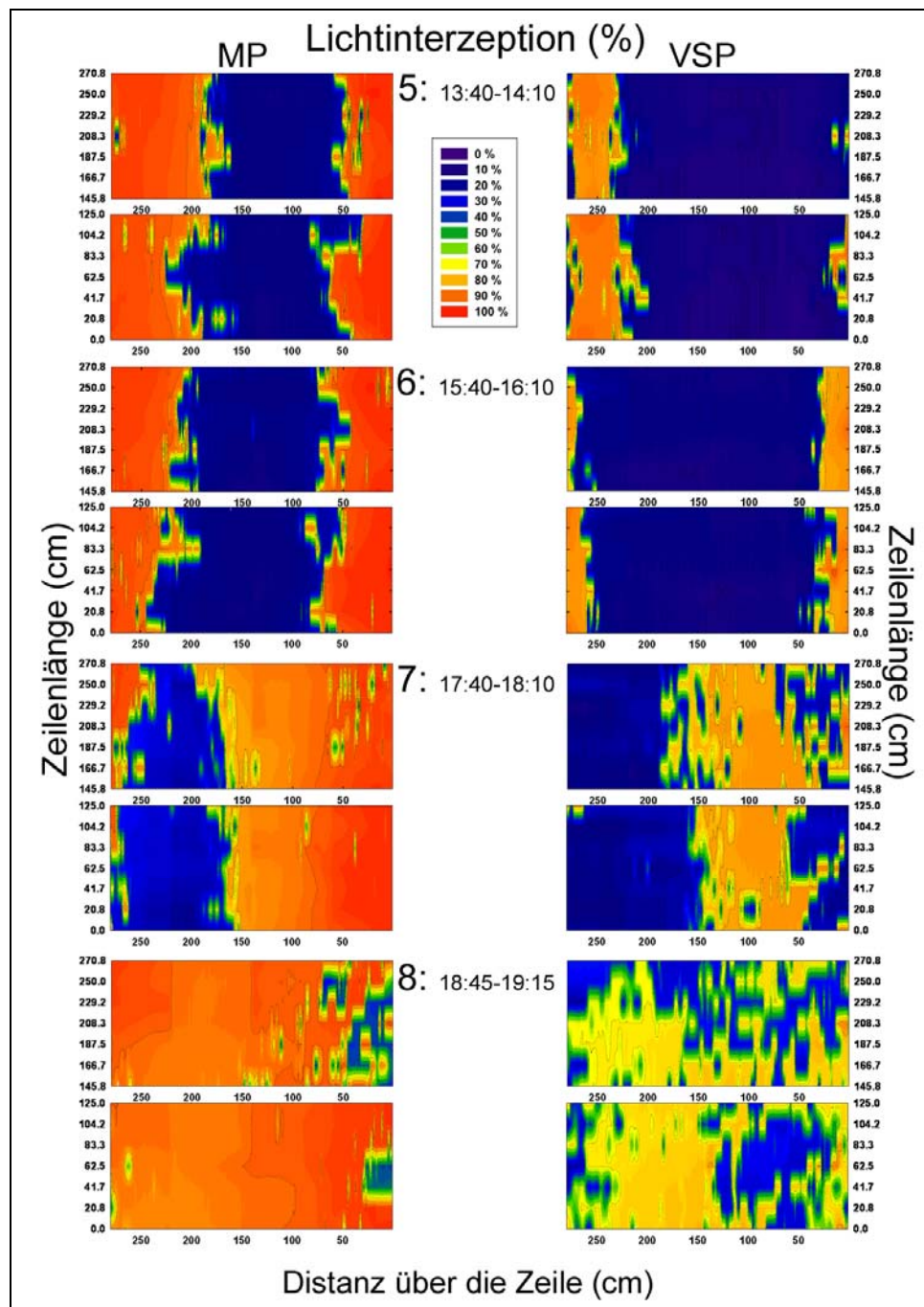


Abb. 11: Räumliche und temporäre Änderung (Uhrzeiten in MESZ) der Lichtinterzeption von Rastergitter A (jeweils untere Hälfte) und B (jeweils obere Hälfte) für MP (linke Seite) und VSP (rechte Seite) zu vier untersuchten Messdurchgängen am Nachmittag und frühen Abend des 18. Juni 2002. Jedes der beiden Rastergitter deckt die gesamte Zeilenbreite von 280 cm bei einer Zeilenlänge von je 125 cm ab. Dies entspricht insgesamt 3920 Datenpunkten bei einer abgebildeten Bodenoberfläche von 7.0 m² je System und Messdurchgang.

Die für die vier untersuchten Termine erhaltene durchschnittliche Lichtinterzeption im Tagesverlauf getrennt nach Rastergitter A (jeweils untere Hälfte) und Rastergitter B (jeweils obere Hälfte) sowie als Durchschnitt beider Rastergitter zeigt Tabelle 1. Diese

Daten entsprechen den Mittelwerten aller Datenpunkte des betreffenden Tages (Abbildung 4 in Manuskript II).

Verschiedene Lichtinterzeptionen einzelner Untersuchungstermine innerhalb eines Systems sind dabei durch die Differenzen der Blattfläche je Einheit Standraum als auch durch Unterschiede des Sonnenstandes während der Vegetation bei 50° nördlicher Breite bedingt (Varlet-Grancher et al. 1989). Die Höhe der Lichtinterzeption zwischen den beiden Erziehungssystemen MP und VSP zu einem bestimmten phänologischen Stadium hingegen korreliert sehr eng mit deren unterschiedlicher Blattfläche je Einheit Standraum zu diesem Zeitpunkt. Da die Blattfläche je Einheit Standraum des MP-Systems von Anbeginn bis zum Ende der Vegetation deutlich höher ist als jene des VSP-Systems, liegt auch dessen Lichtinterzeption jeweils auf einem höheren Niveau.

Tab. 1: Über alle Messdurchgänge einzelner Tage gemittelte prozentuale Lichtinterzeption der Laubwände von MP und VSP getrennt nach Rastergitter A und B sowie die daraus gemittelten Werte eines jeden Systems des Jahres 2002 auf der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg.

Datum/ BBCH	MP		VSP	
08.05.2002/ BBCH 17	A: 32.9 B: 36.7	Ø: 34.7	A: 17.6 B: 17.0	Ø: 17.3
18.06.2002/ BBCH 57	A: 61.3 B: 64.4	Ø: 62.9	A: 37.5 B: 34.8	Ø: 36.2
15.08.2002/ BBCH 81	A: 63.6 B: 61.7	Ø: 62.7	A: 52.0 B: 50.1	Ø: 51.1
01.10.2002/ BBCH 85	A: 75.0 B: 77.0	Ø: 76.0	A: 63.6 B: 61.7	Ø: 62.7

Der Wasserkonsum von Reben wird von einer systembedingt unterschiedlichen Blattflächenentwicklung (Downton und Grant 1992, Sommer *et al.* 1993, Sommer 1995, Martínez de Toda und Sancha 1998, Schmid und Schultz 2000) und Lichtinterzeption (Riou *et al.* 1994, Williams und Ayars 2005b) beeinflusst. Über eine gesamte Vegetation betrachtet, erklärt dies die beobachtete stärkere Abnahme des frühmorgendlichen Blattwasserpotentials (Ψ_{pd}) für MP im Vergleich zu VSP bei gleichem Standraum je Pflanze beider Systeme. Gleichzeitig lässt sich über eine sich angleichende Lichtinterzeption von MP und VSP zum Ende der Vegetation hin eine dann geringere Differenz des Ψ_{pd} zwischen MP und VSP erklären (Schmid und Schultz 2000).

Neben einem Einfluss dieser Parameter auf das Ψ_{pd} war in vorliegender Arbeit zudem eine unterschiedliche Entwicklung des Blattwasserpotentials im Tagesverlauf (Ψ_{di}) erkennbar (Abb. 12). Im Hochsommer des trocken heißen Jahres 2003 (5.-6. August 2003; Abb. 12A) wurden Werte von Ψ_{pd} in beiden Systemen unterhalb des empfohlenen Schwellenwertes einer Bewässerung weißer Rebsorten unter den Anbaubedingungen Mitteleuropas von -0.3 MPa (Gruber und Schultz 2005) erreicht. Am 16.-17. September wies VSP Werte deutlich oberhalb dieser Schwelle, MP hingegen unter bzw. um diesen Schwellenwert auf. Zu beiden beobachteten Terminen fiel das Blattwasserpotential während des Tages deutlich bei vielfach signifikant negativeren Werten für MP ab. Aufgrund der im August herrschenden sehr heißen und trockenen Witterung fand der Abfall des Blattwasserpotentials beider Systeme sehr frühzeitig statt und erreichte bereits gegen 12.00 Uhr MESZ seinen Tiefpunkt (-1.16 MPa für MP; -1.07 MPa für VSP, max. Lufttemperatur 36.3 °C). Ein weiterer Abfall des Wasserpotentials der Blätter beider Systeme wurde dabei durch eine partielle bzw. komplette Schließung der Stomata verhindert. Zum zweiten Termin Mitte September lagen die absolut gemessenen Werte in beiden Systemen deutlich unter denen des Augustes, wobei die Differenzen zwischen MP und VSP im Tagesverlauf stärker ausgeprägt waren (Abb. 12B). Anhand der für diesen Termin später im Tagesverlauf festgestellten absoluten Minima von Ψ_{di} (15:30 Uhr MESZ) beider Systeme im Vergleich zum Termin im August, liegt die Vermutung nahe, dass die Verfügbarkeit bzw. ein durch geänderte Umweltbedingungen (max. Lufttemperatur 27.7 °C) verringerter Bedarf an Wasser zu einem zeitlich späteren Abfall der Blattwasserpotentiale führten. Gleichzeitig erholten sich die Blattwasserpotentiale für den späteren Messtermin schon während der Tageszeit und nicht erst mit beginnender Nachtphase.

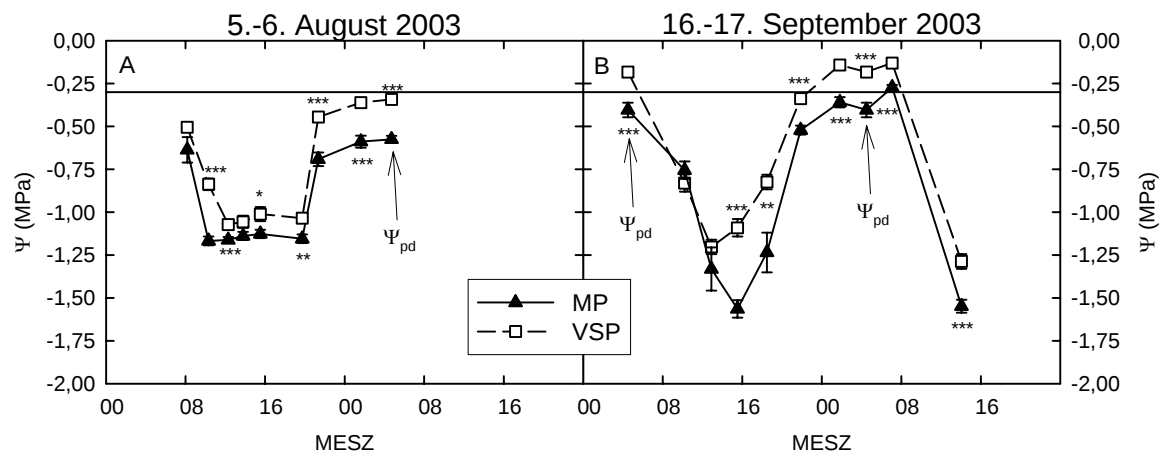


Abb. 12: Blattwasserpotential (Ψ_{pd} und Ψ_{di}) von MP- und VSP-Reben am 5.-6. August (A) und 16.-17. September (B) des Jahres 2003 im Tagesverlauf. Horizontale Linien geben den zur Steuerung einer Bewässerung weißer Rebsorten in Mitteleuropa empfohlenen Schwellenwert von -0.3 MPa (Ψ_{pd}) an. Die Daten zeigen Mittelwerte von je 8 Blättern $\pm$ SE; ANOVA (Holm-Sidak); *: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$

Die festgestellten Unterschiede der Lichtinterzeption können mit weiteren Parametern den Gaswechsel (A) und über diesen die Kohlenstoffakkumulation in starkem Maße beeinflussen (Schultz *et al.* 1999a, Poni *et al.* 2003).

Viele bis dato durchgeführte Studien des Gaswechsels bei MP und geschnittenen Reben zeigten allerdings keine oder lediglich geringe Differenzen bezüglich des Gaswechsels individueller Blätter im Durchschnitt einer Vegetationsperiode (Downton und Grant 1992, Sommer und Clingeffer 1993, Sommer *et al.* 1993, Poni *et al.* 2000, Intrieri *et al.* 2001). Teilweise wurden höhere Werte von A für MP zu Beginn und gegen Ende der Vegetation festgestellt (Downton und Grant 1992, Intrieri *et al.* 2001). Da viele bisherige Studien des Gaswechsels von MP und VSP an Topfpflanzen, unter bewässerten Feldbedingungen oder in wärmeren Klimaten statt fanden, sind diese jedoch allenfalls bedingt auf hiesige Verhältnisse übertragbar. Daneben sollte in dieser Studie untersucht werden inwieweit verschieden inserierte Laubwandsegmente (Lebon und Schultz 1996) von MP und VSP unterschiedliche Gaswechselcharakteristika aufweisen und ob sich diese in ihrem Beitrag zur Kohlenstoffbilanz während eines Tages bzw. über eine gesamte Vegetation unterscheiden.

Hintergrund hierbei war die in die Zukunft gerichtete Betrachtung ‚unproduktive‘ Laubwandsegmente durch Veränderungen in der Laubwandstruktur zu bereinigen bzw. in ihrer Leistung zu verbessern. In beiden Systemen ergaben sich während eines Tagesverlaufs und über die Vegetation betrachtet Unterschiede hinsichtlich der Quantität der photosynthetisch aktiven Strahlung (PPFD), welche einzelne

Laubwandsegmente erreichte. Die Menge an PPFD je Segment war abhängig von dem Sonnenstand während eines Tagesverlaufs und innerhalb der Vegetationsperiode. Diese Unterschiede waren für beide Systeme analog, da die Rebzeilen beider parallel von Nordost nach Südwest ausgerichtet waren. Der apikale zentrale Teil („Top“) beider Systeme empfing über einen Tag hinweg, wie über die Vegetation betrachtet mit bis zu $50 \text{ mol PPFD d}^{-1}$ die höchsten Lichtintensitäten.

Im Laubwandinnern inserierte Blätter wiesen für beide Systeme und alle untersuchten Termine während eines Tages die geringste Intensität an PPFD auf. Diese Befunde entsprechen damit weitgehend sowohl Daten von Feldmessungen (Schultz *et al.* 1999a, Escalona *et al.* 2003) als auch Modellberechnungen (Riou *et al.* 1989, Zufferey und Murisier 1997, Schultz *et al.* 1999a).

Charakteristika bezüglich PPFD einzelner Laubwandsegmente spiegelten sich teilweise in deren Gaswechselfparameter (A und g_s) wider. Teilweise waren PPFD und die stomatäre Leitfähigkeit (g_s) sowie A allerdings auch voneinander entkoppelt. Segmente, die während eines Tages hohe Lichtintensitäten erhielten (Südostseite, apikale Segmente), waren hiervon stärker betroffen, wobei g_s und A teils schon gegen 12.00 Uhr MESZ (Abb.: 13: 29. Juli 2002; Abb. 14: 15. August 2003) enorm reduziert waren. Diese Entkopplung wurde durch Wasser- und Hitzestress, Blatttemperaturen teilweise $>40^\circ\text{C}$ (Abb. 13), sowie hohes Wasserdampfsättigungsdefizit hervorgerufen.

Da MP während der Sommermonate regelmäßig niedrigere Blattwasserpotentiale (Ψ_{pd} und Ψ_{di}) aufwies, sanken A und g_s früher und schneller bei gleichzeitig tendenziell höheren Blatttemperaturen (T_{leaf}) im Tagesverlauf (Abb. 13, Abb. 14).

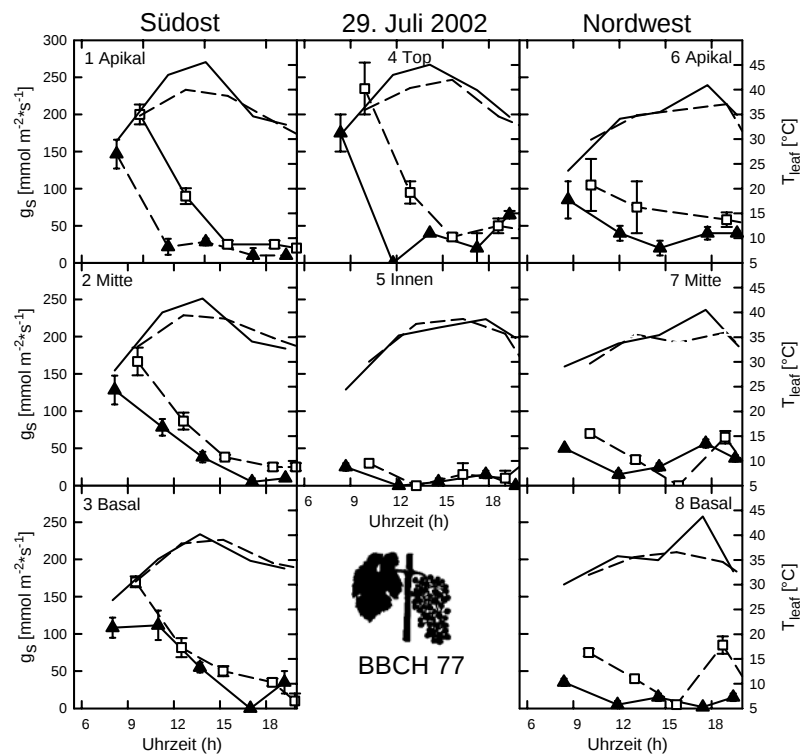


Abb. 13: Stomatäre Leitfähigkeit und Blatttemperatur individueller Laubwandsegmente von MP und VSP Reben im Tagesverlauf am 29. Juli 2002. Datenpunkte zeigen Mittelwerte von 2 - 6 Rebblättern $\pm$ SE. Messungen erfolgten in natürlicher Blattposition. Ausgefüllte Dreiecksymbole und durchgezogene Linien stehen für MP, nicht gefüllte Symbole und gestrichelte Linien für VSP.

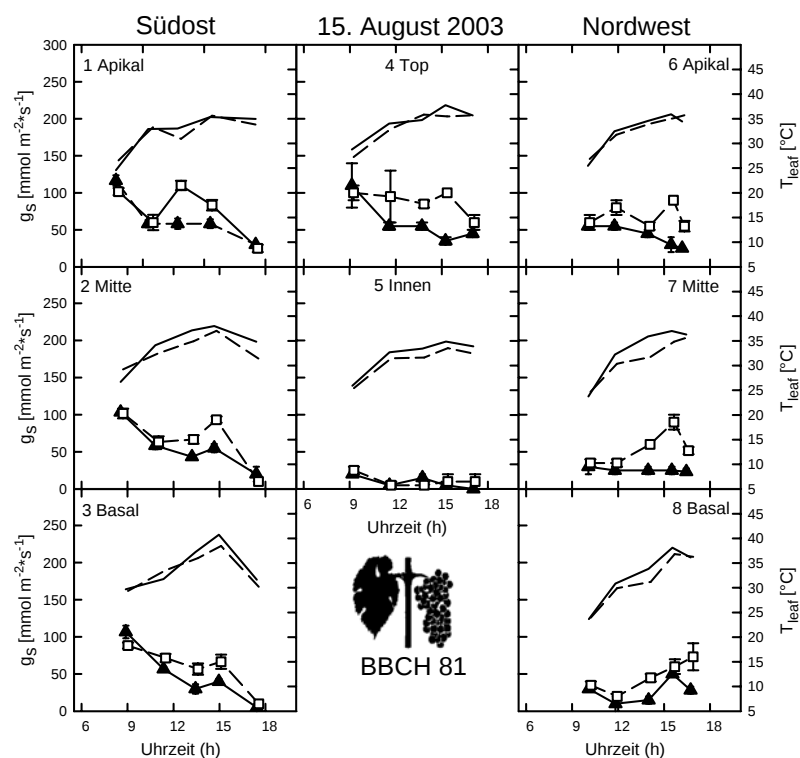


Abb. 14: Stomatäre Leitfähigkeit und Blatttemperatur individueller Laubwandsegmente von MP und VSP Reben im Tagesverlauf am 15. August 2003. Datenpunkte zeigen Mittelwerte von 2 - 6 Rebblättern $\pm$ SE. Messungen erfolgten in natürlicher Blattposition. Legende analog Abbildung 13.

Unter nicht limitierenden Umweltbedingungen waren stomatäre Leitfähigkeit und Gaswechsel von MP und VSP ähnlich, obwohl die Blätter von MP im Durchschnitt älter waren als solche von VSP. Dies bestätigt für hiesige Bedingungen Beobachtungen von Downton und Grant (1992), Sommer und Clingeffer (1993) und Intrieri *et al.* (2001), die für Blätter von MP keine geringere Leistungsfähigkeit, jedoch aufgrund ihres höheren durchschnittlichen Alters eine gesteigerte Langlebigkeit in ihren Untersuchungen feststellen konnten. Der Befund einer aufgrund eines größeren ‚sinks‘ (Mengenenertrag an Trauben) gesteigerten Photosynthese je Blattfläche (Downton *et al.* 1987) konnte in vorliegender Studie unter den Bedingungen des Rheingaus hingegen nicht bestätigt werden. Im Gegensatz zu den meisten Studien wärmerer Klimate, bei denen ein gesteigerter Mengenenertrag von MP im Verhältnis zu einer deutlich geringeren relativen Zunahme der Blattfläche steht, kam es in vorliegender Untersuchung bei MP zwar zu einer Ertragszunahme von etwa 225 %, gleichzeitig jedoch ebenfalls zu einer Zunahme der Blattfläche um etwa das dreifache.

Die Netto-Kohlenstoffbilanz je Laubwandsegment als Summe des integrierten Kohlenstoffgewinns während der Lichtphase abzüglich der geschätzten nächtlichen Respiration (Schultz 1991), ergab beträchtliche Differenzen zwischen individuellen Segmenten eines Systems sowie zwischen beiden Erziehungssystemen. Die nächtliche Respiration war dabei aufgrund der vorherrschenden relativ niedrigen Nachttemperaturen in Relation zu Lakso *et al.* (1996) und Poni *et al.* (2000) wesentlich geringer.

Mit Ausnahme des ersten Untersuchungstermins (28. Mai 2002) für VSP, war in beiden Systemen der Kohlenstoffgewinn im mittleren apikalen („Top“) Segment am höchsten. Daneben war auffällig, dass die Südostseite einen höheren Anteil am Kohlenstoffgewinn einer Vegetation aufwies, als korrespondierende nordwestlich orientierte Zonen der Laubwand. Über die gesamte Vegetation hinweg existierte eine Tendenz zu geringeren Anteilen des Kohlenstoffgewinns für basal inserierte Segmente. Diese Befunde spiegeln sowohl die im Tagesverlauf interzeptierte Lichtmenge sowie die Verteilung der Blattfläche in den Segmenten wider (Zufferey und Murisier 1997, Zimmer 1998, Escalona *et al.* 2000).

Das innen liegende Segment beider Systeme zeigte lediglich vor der vollständigen Entwicklung der Laubwände (bis ca. BBCH 57) einen positiven Beitrag zur Netto-Kohlenstoffbilanz. Zumindest bei MP zeigte sich ebenfalls für dieses Segment ab dem

phänologischen Zeitpunkt der Blüte eine vermehrte Seneszenz und Abszission der dort lokalisierten Blätter.

Ein Rückgang der täglichen Akkumulation von Kohlenstoff gegen Ende der Vegetation für beide Systeme lag an stärker ausgeprägtem Wassermangel in Verbindung mit einer durchschnittlich älteren Blattfläche (Lakso *et al.* 1996, Poni *et al.* 2000), sowie an den deutlich kürzeren Lichtphasen während eines Tages begründet.

Für alle untersuchten Tage ergab sich für MP eine weitaus höhere Akkumulation an Kohlenstoff als für VSP. Zu Anfang der Vegetation war dies aufgrund der schnelleren Blattflächenentwicklung stärker ausgeprägt als gegen Ende der Vegetation.

Die erhaltenen Daten der Gaswechselcharakteristika sowie der modellierten Kohlenstoffbilanz weisen auf das enorme Potential der Kohlenstoffakkumulation minimal geschnittener Reben im Vergleich zu geschnittenen Reben (Relation ca. 2.8) unter den Bedingungen Mitteleuropas hin. Die Kapazität zur Trockenmassebildung (Winkler 1958) wird durch einen Winter- bzw. Grünschnitt bei traditionellen Erziehungsmethoden auch unter mitteleuropäischen Bedingungen stark dezimiert.

3.3 Hormonelle Ertragsregulierung

Von den für MP in Europa in der Mehrzahl der Jahre zu erwartenden deutlich höheren Mengenerträgen (Iacono *et al.* 1998, Martínez de Toda und Sancha 1998, Poni *et al.* 2000, Intrieri *et al.* 2001, Bauer 2002, Schultz und Weyand 2005) im Vergleich zu geschnittenen Reben können nach dem Menge-Güte-Gesetz (Sartorius 1952) nachteilige Effekte auf die Trauben- und hierüber auf die Weinqualität erwartet werden (Carbonneau 1991, Ollat *et al.* 1993, Schultz und Weyand 2005). Die Belastung individueller Reben bei MP ist nicht nur aufgrund höherer Mengenerträge je Fläche, sondern häufig zusätzlich wegen größerer Standräume und dadurch höheren Erträgen je Rebe gesteigert. Weiterhin führt das Konzept von MP in den meisten Jahren zur Überschreitung der jeweils geltenden gesetzlichen Hektarhöchststertragsregelung und mindert nicht zuletzt hierdurch die Akzeptanz der weinbaulichen Praxis für ein derartiges Bewirtschaftungskonzept. Eine Ertragsreduzierung von MP in Mitteleuropa erscheint vor diesem Hintergrund unumgänglich.

Für globalisierte Weinmärkte gilt es über kostenextensive Produktionstechnologien bei ansprechenden Qualitäten die deutsche Weinwirtschaft in ihrer Wettbewerbsfähigkeit zu fördern. Eine praktikable und gleichzeitig legitime Ertragsregulierung von MP könnte hierzu einen essentiellen Beitrag leisten. Bisherige Bemühungen die Erträge von MP auf mechanischem Wege auf das gewünschte Niveau zu reduzieren, sind bisher jedoch aus technischen Gründen gescheitert oder weisen phytosanitäre und qualitative Nachteile auf (Fendinger 1996, Neckerauer 1997, Rühling 1999, Schultz 2002).

Der gezielte Einsatz des Pflanzenhormons Gibberellinsäure (GA₃) zur Reduzierung der Augenfruchtbarkeit der Winterknospen von *Vitis vinifera* Sorten im Folgejahr einer Applikation, zur Förderung des Verrieselns (franz.: ‚coulure‘) während und nach der Blüte und zur Induktion kleinerer und vermehrt parthenokarper Früchte, kann die Ertragshöhe mindern (Alleweldt 1961a, Weaver und McCune 1961, Bangerth und Götz 1975, Valenzuela 1975, Srinivasan und Mullins 1981, May 2004, Swain und Singh 2005). Eine Reduktion der Mengenerträge bei gleichzeitiger Erhöhung der Zuckerreife zum Zeitpunkt der Ernte auf ein ähnliches Niveau geschnittener Spaliersysteme, ist für MP wünschenswert. Im Optimum sollte dies unter der Beibehaltung der für MP typischen und vorteilhaften Merkmale lockerer und in nass-feuchten Jahren wenig fäulnisanfälliger Trauben mit kleinen Beeren und einem weiten Verhältnis von Beerenhaut zu Fruchtfleisch einhergehen.

Im ersten Jahr der Anwendung eines Präparates auf GA₃-Basis (2002) führte dessen Einsatz in MP-Varianten zu einem verstärkten Verrieseln der Blüten und Beeren sowie zur Bildung kleinerer und vermehrt parthenokarper Früchte gegenüber der Kontrollvariante von MP und VSP. Eine Ertragsreduzierung erreichte dabei jedoch nicht die gewünschte Höhe. Abhängig von Versuchsfläche, Rebsortenklon und exaktem Applikationszeitpunkt während der Blüte konnte teils auch eine Ertragserhöhung festgestellt werden.

Die durch den unterschiedlichen phänologischen Applikationszeitpunkt (BBCH 65 am 16. Juni bzw. BBCH 68 am 17. Juni 2002) bei gleicher Konzentration und Wasseraufwand von GA₃ hervorgerufenen Unterschiede der Ertragshöhe von etwa 25 % innerhalb beider mit GA₃ behandelten Varianten in 2002 deuteten auf das äußerst schwierige ‚Handling‘ und die hohe Abhängigkeit von Witterung und phänologischer Terminierung der Applikation von GA₃ hin, um zu einer zielgerichteten Ertragsreduzierung bei Riesling-MP zu kommen. Höhere Säuregehalte sowie teilweise geringere Zuckergehalte von Beeren während der Reife und bei der Ernte wiesen zudem auf eine durch GA₃ induzierte Reifeverzögerung, welche von einer relativ geringen Ertragsreduzierung im ersten Jahr der GA₃-Applikation nach dem Menge-Güte-Gesetz nicht kompensiert werden konnte. Die beobachtete Reifeverzögerung wurde dabei wahrscheinlich von dem das vegetative Wachstum fördernden Charakter von GA₃ verursacht (Basma 2000, Davies 2004).

Über die Nachwirkungen auf die Augenfruchtbarkeit (Alleweldt 1961b, Weaver und McCune 1961, Srinivasan und Mullins 1981) im auf eine GA₃-Applikation folgenden Jahr konnte eine deutlichere Ertragsdepression erreicht werden als über die ertragsreduzierende Wirkung eines erhöhten Verrieselns im ersten Jahr des GA₃-Einsatzes. Bei einem jährlich zum Zeitpunkt der Blüte wiederholten Einsatz von GA₃ lag der Mengenertrag von MP ab dem zweiten Jahr kombiniert durch Auswirkungen auf Fruchtbarkeit und einem erhöhten Verrieseln auf einem ähnlichen Niveau wie jenes von VSP.

Der Einsatz von GA₃ führte zu einer partiell sehr deutlichen Verringerung des Trockenstresses während der Vegetation. Besonders deutlich war diese Feststellung ab dem phänologischen Stadium ‚Beginn des Traubenschlusses‘ (BBCH 77) bis zur Ernte (BBCH 89) in beiden untersuchten Jahren zu beobachten.

Das festgestellte weniger negative Ψ_{pd} behandelter Reben ging teilweise mit höheren Werten von g_s und A einher.

Von Anfang der Vegetation bis weit nach der Applikation von GA_3 des Jahres 2004 lagen g_s und A für alle Varianten auf einem vergleichbaren Niveau (Abb. 15 A-C, F-H). Erst mit divergierendem Ψ_{pd} zwischen den Varianten kam es partiell zu signifikant höheren Werten von g_s und A der behandelten Varianten gegenüber MP (Abb. 15 D-E, I). In der Reifephase glich sich A zwischen den Varianten wieder an (Abb. 15 J). Eine während der Vegetation teilweise beobachtete höhere Assimilation mag in den behandelten Varianten neben den größtenteils verringerten Erträgen (Kompensation) zu höheren Mostgewichten gegenüber unbehandelten MP-Reben und teilweise gegenüber VSP beigetragen haben. Eine reifeverzögernde Wirkung von GA_3 ließe sich demnach durch die teilweise verringerten Erträge und eine partiell gesteigerte Assimilation kompensieren.

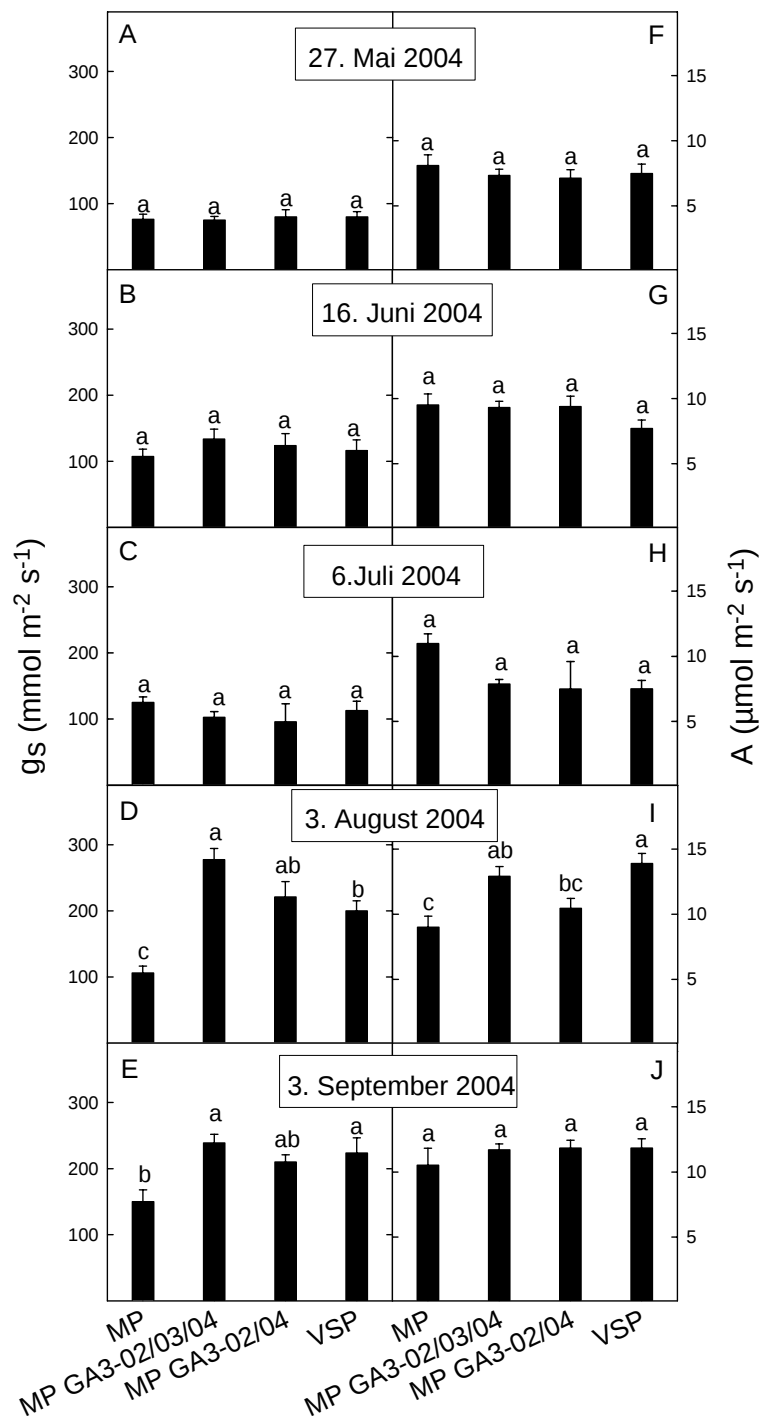


Abb. 15: Stomatäre Leitfähigkeit (A - E) und Netto-Kohlenstoffassimilation (F - J) von MP, MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04 und VSP vor der GA₃-Applikation des Jahres 2004 (27. Mai), einen Tag nach der Applikation (16. Juni), während der Beerenentwicklung (6. Juli), zu Reifebeginn (3. August) und während der Reife (3. September). Daten zeigen Mittelwerte exponierter Blätter am späten Vormittag mit $n = 8 \pm \text{SE}$. ANOVA (Holm-Sidak): $p \leq 0.05$.

Von einer durch die Applikation von GA₃ gesteigerten stomatären Leitfähigkeit geringelter Reben bzw. verminderten depressiven Wirkung des Ringelns auf A und g_s

wurde mehrfach berichtet (Harrell und Williams 1987a, Harrell und Williams 1987b, Roper und Williams 1989, Williams und Ayars 2005a). Allerdings gingen diese Autoren von einem höheren Wasserverbrauch bei einem gesteigerten g_s gegenüber dem verminderten Wasserverbrauch geringelter Reben aus. Ein gesteigerter Wasserverbrauch bei der Applikation von GA_3 im Vergleich zu unbehandelten Reben lässt sich hingegen anhand vorliegender Daten nicht bestätigen. Vielmehr scheint es hier, als ob ein höheres Ψ_{pd} (also ein vermeintlich geringerer Wasserverbrauch) über die Vegetationshistorie behandelter Reben zu einem höheren g_s führt und nicht umgekehrt.

Da am Anfang der Vegetationsperiode aber g_s über alle Varianten vergleichbar war, sind die höheren Wasserpotentialwerte schwierig zu erklären. Sie lassen jedoch den Schluss zu, dass ein durch GA_3 verringerter Ertrag zu einem reduzierten Wasserverbrauch und folglich höheren Werten von Ψ_{pd} führt. Zum Einfluss der Höhe des Ertrags auf den Wasserverbrauch und den Wasserstatus von Reben existieren erstaunlich wenige Daten in der Literatur. Bravdo *et al.* (1985) berichten von einem höheren Wasserverbrauch stark im Ertrag reduzierter Reben im Vergleich zu unbehandelten Kontrollreben bei hohem Bewässerungsniveau, jedoch von einem geringerem Wasserverbrauch ertragsreduzierter Reben im Vergleich zu Kontrollreben bei reduzierter Bewässerung, was auf starke Wechselwirkungen zwischen Ertragshöhe, vegetativem Wuchs und Wasserverbrauch schließen lässt.

In vorliegender Studie hingegen wurde ohne künstliche Bewässerung der vegetative Wuchs der im Ertrag reduzierten Pflanzen nicht oder nur geringfügig angeregt und wirkte sich demnach nicht bzw. kaum über eine höhere transpirierende Oberfläche der grünen Organe auf den Wasserverbrauch aus. Der verringerte Ertrag hingegen bewirkte wahrscheinlich eine Minderung des Wasserverbrauchs ähnlich wie bei Obstbäumen (Morris *et al.* 1962, Monselise und Lenz 1980), so dass dies im Laufe der Vegetation die frühmorgendlichen Wasserpotentialwerte behandelter Reben nach vorliegender Diagnose erhöhte und so den Trockenstress dezimierte.

Weitere Auswirkungen physiologischer Art von GA_3 , die den Wassertransport bzw. den Wasserverbrauch der Reben veränderten, sind ebenfalls denkbar. So berichtet Aloni (1985, 1987) unter anderem von einer von Pflanzenhormonen abhängigen Differenzierung der Leitbündel und Faserzellen des Phloems und Xylems jungen Pflanzengewebes. Dem generell das Längenwachstum anregenden Pflanzenhormon GA_3 kommt bei der anatomischen Differenzierung dieser Zellen eine hohe Bedeutung

zu. Eine von GA₃ geänderte Form der Zellen des Leitgewebes in den Dimensionen Länge bzw. Durchmesser könnte nach deren Ausdifferenzierung den Wassertransport (Aloni 1987) sowie die hydraulische Leitfähigkeit positiv beeinflussen. Eine erkennbare Reaktion des Wasserpotentials oder auch der Kenngrößen Assimilation bzw. stomatären Leitfähigkeit kann demnach erst eine gewisse Zeit nach der Applikation von GA₃ auftreten, wie dies in vorliegender Studie zu beobachten war. Theoretisch müsste ein derartiger Effekt bei mehrjährig behandelten MP-Reben stärker vorhanden sein.

Allerdings sind diese Zusammenhänge kaum bzw. nicht bei *Vitis vinifera* untersucht. Derartige Wirkungen könnten indes von Götz und Petgen (2005) gemachte Beobachtungen hinsichtlich einer verringerten Stielhämeanfälligkeit und Welkeerscheinungen von Trauben der Rebsorte Dornfelder nach der Applikation von GA₃ zur Blüte erklären. Neben einem günstigeren Wassertransport in den jungen Trieben behandelter Reben zu den Trauben, wäre hier ebenfalls eine entsprechende Änderung der Leitbündel des Traubengerüsts zu erwarten. Wasser wäre leichter zu den Trauben und zusätzlich in die Beeren zu transportieren.

Die ertragsreduzierende Wirkung der angewandten Konzentrationen von GA₃ bei MP in den vorliegenden Untersuchungen war nicht von einer toxischen Wirkung (Weaver 1960, Alleweldt 1961a, Ziv *et al.* 1981, Dry 2000) auf die Winterknospen verursacht. Es kam zu keinem verzögerten oder ungleichmäßigen Knospenaustrieb bzw. zu keinen Absterbeerscheinungen von Winterknospen. Die Ertragsreduzierung wurde vielmehr über die Ausbildung weniger und mit weniger Blütenansätzen versehenen Infloreszenzen je Trieb und Pflanze erreicht (Abb. 16, Abb. 17).

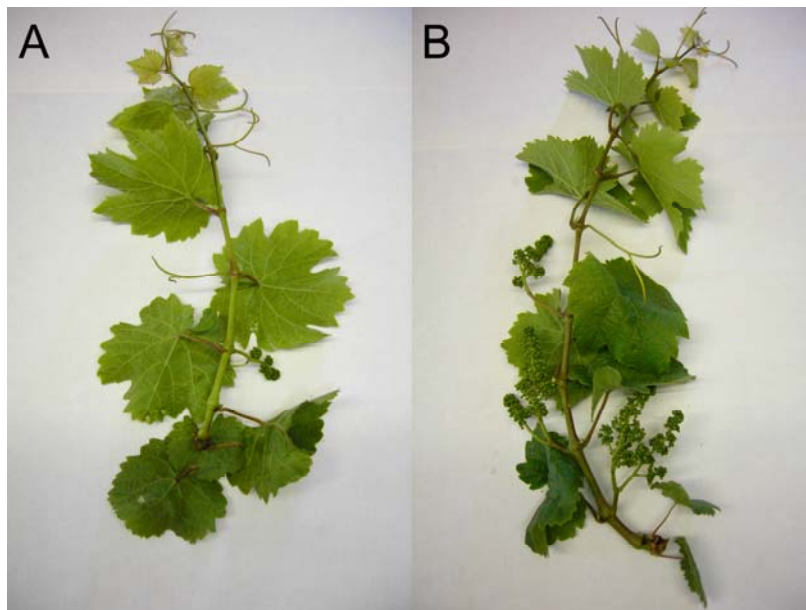


Abb. 16: Typischer Trieb minimal geschnittener Rieslingreben mit einer Infloreszenz nach zweijähriger Behandlung mit GA_3 (A) sowie mit drei Infloreszenzen unbehandelter Reben (B) vor der Blüte des Jahres 2004.



Abb. 17: Typische Infloreszenz einer minimal geschnittenen Rieslingrebe nach zweijähriger Behandlung mit GA_3 (A) sowie einer unbehandelten und minimal geschnittenen Rieslingrebe (B) vor der Blüte des Jahres 2004.

Bei den Inhaltsstoffen von Beeren konnten höhere Catechingehalte bei den GA_3 -Varianten in dem trocken-heißen Jahr 2003 festgestellt werden. Eine aufgrund des Verrieselns geförderte bessere Belichtung einzelner Beeren einer Traube und einer dadurch bedingten vermehrten Bildung phenolischer Komponenten könnte hierfür ausschlaggebend gewesen sein. Denkbar wären zudem höhere Catechinwerte behandelter Reben aufgrund einer veränderten Struktur der Beerenhäute, da gerade in

diesen vermehrt Phenole lokalisiert sind. So stellte Biewers (2004) bei den Sorten Blauer Spätburgunder und Riesling einen höheren Trockensubstanzgehalt der Beerenhäute von mit GA₃ behandelten Reben bei unverändertem Frischgewicht fest. In einem höheren Trockensubstanzgehalt könnten sich vermehrt Phenole während der Reifephase einlagern. In eine ähnliche Richtung gehen Überlegungen hinsichtlich tendenziell festerer Beerenhäute von MP nach einer Applikation von GA₃ im Vergleich zu unbehandelten Beeren (Abb. 18), die eventuell auf eine dickere bzw. mit einem höheren Trockensubstanzanteil versehene Beerenhaut deuten.

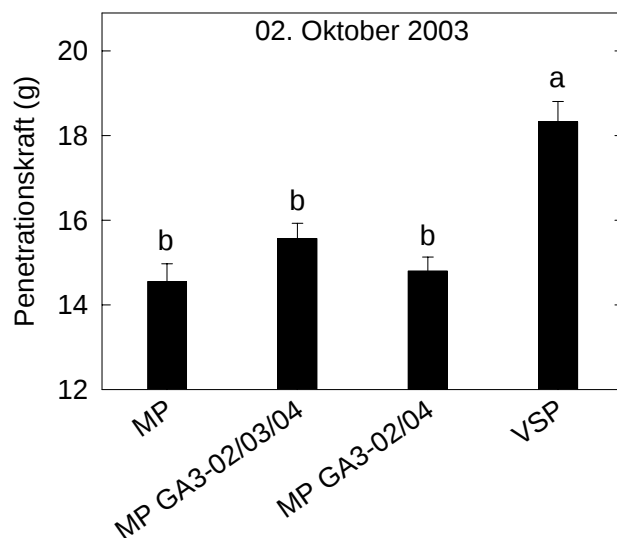


Abb. 18: Aufzuwendende Penetrationskraft einer ebenen Nadelspitze von 0.50 mm Durchmesser einer Federwaage zum Durchdringen intakter Beerenhäute. Individuelle Beeren (>1.2 g BFW) wurden jeweils an der distalen Seite sowie neben der Narbe beprobt. Daten zeigen Mittelwerte von Beerenpopulationen mit $n = 50 \pm \text{SE}$. ANOVA (Holm-Sidak): $p \leq 0.05$.

Höhere Gehalte phenolischer Substanzen in gepressten Mosten und Weinen könnten sich sensorisch negativ bemerkbar machen. Entsprechende önologische Weinbehandlungsmaßnahmen, um erhöhte Gehalte von Phenolen in Mosten und Weinen aus mit GA₃ behandelten Reben zu reduzieren, sind je nach Bedarf anzuwenden.

Die aus qualitativer und phytosanitärer Sicht als für MP positiv zu bewertenden Merkmale kleiner Beeren und lockerer Trauben blieben weitgehend erhalten. Vor allem im ersten Jahr der Anwendung von GA₃ bei MP-Reben mit typischerweise schon lockeren Trauben kam es dabei über das verstärkte Verrieseln zu einer weiteren Auflockerung. Dies könnte vor allem bei Sorten, welche nach einer Umstellung von Schnitt auf minimalen Schnitt wenig mit lockeren Trauben und kleinen Beeren reagieren

von großem Vorteil sein. Hierunter fallen Sorten wie beispielsweise Müller-Thurgau (Abb. 19) oder Sorten der Burgundergruppe.

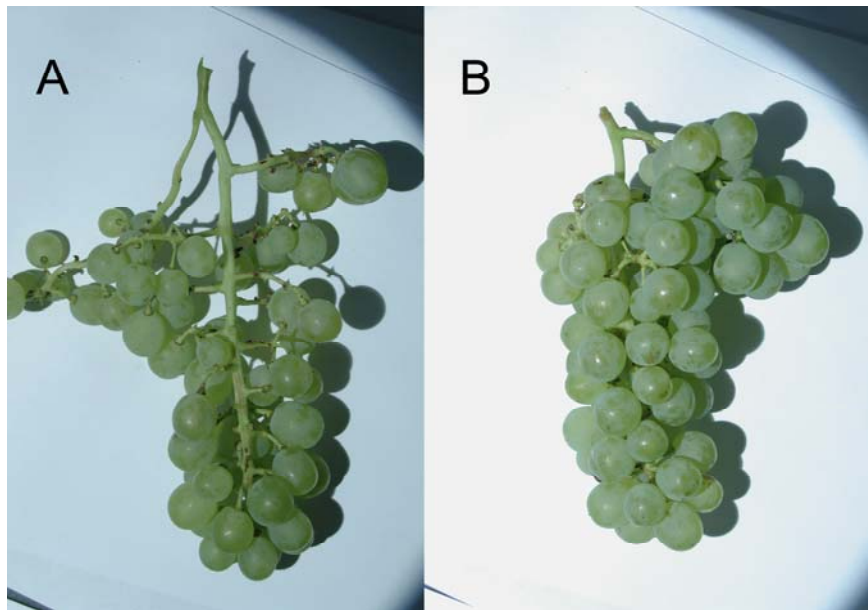


Abb. 19: Erscheinungsform minimal geschnittener Trauben der Sorte Müller-Thurgau nach der Applikation von GA_3 zum Zeitpunkt der Vollblüte (A) sowie unbehandelter Reben (B) unmittelbar vor der Ernte des Jahres 2002.

Aufgrund des Transportes exogen applizierter GA_3 in Richtung meristematischer Wachstumsgewebe innerhalb eines behandelten Triebes, jedoch einer nachgewiesenen äußerst geringen Translokation aus behandelten Trieben in andere Reborgane (Stamm, Wurzeln, weitere Triebe) (Weaver *et al.* 1966), wird überwiegend die Fruchtbarkeit behandelter Triebe im Folgejahr reduziert. Hierdurch wäre die gezielte Behandlung von Segmenten mit eher geringeren Traubenqualitäten (z. B. die Nordseite oder nahe am Boden inserierte Laubwandsegmente) zur Ertragsreduzierung und Qualitätssteigerung denkbar. Erste Ergebnisse der Verfolgung einer solchen Strategie, bei der lediglich die sonnenabgewandte Seite oder basal inserierte Laubwandteile in 2003 und 2004 mit GA_3 appliziert wurden, verliefen positiv. Weiterführende Untersuchungen hinsichtlich der qualitativen und quantitativen Distribution von Trauben und Beeren innerhalb der großvolumigen Laubwände von MP zwecks einer zielgerichteten Ertragsreduzierung sind aber noch notwendig.

Auch eine Behandlung bisher geschnittener Reben im Jahr vor der Umstellung auf MP ist denkbar. Da MP häufig im ersten Jahr der Umstellung besonders hohe Erträge aufweist, ließe sich die Augenfruchtbarkeit im Folgejahr -also im ersten Jahr eines minimalen Schnittes- reduzieren und auf diese Weise die Mengenerträge auf die Vorgaben des Gesetzgebers bei gleichzeitig höherer Qualität von Trauben von MP

verringern. Auch ließen sich eventuell beschriebene Alternanzprobleme von MP (Vgl. Kap. 1.4) mit einer derartigen Strategie gegebenenfalls mindern.

Ausdrücklich sei an dieser Stelle jedoch auf die momentane rechtliche Situation des Einsatzes von GA₃ im Weinbau hingewiesen.

Gibberelline finden zwar weltweite Anwendung im Tafeltraubenanbau und sind in Abhängigkeit nationaler Gesetzgebung teilweise im Anbau von zur Vinifizierung bestimmter Trauben zugelassen. In der Bundesrepublik Deutschland haben gibberellinhaltige Präparate jedoch keine generelle Zulassung im Rebbau.

Das Handelspräparat Gibb₃ der Firma Globachem nv, B-3803 Sint Truiden, Belgien, welches auch in dieser Studie zum Einsatz kam, hatte im Rahmen des §11(2) PflSchuG ‚Gefahr im Verzuge‘ in den Jahren 2004 und 2005 eine Genehmigung zur *Bekämpfung der Essigfäule an Weinreben* ab dem 11. Mai 2004 bzw. dem 1. April 2005 für eine Dauer von je 120 Tagen. Auch eine Zulassung für 2006 wurde zum 1. April 2006 gewährt. Weitere gibberellinhaltige Präparate waren und sind derzeit im Weinbau bis auf weiteres nicht zugelassen bzw. die Zulassung ist derzeit nicht beantragt.

In vorliegender Studie wurde GA₃ in allen Versuchsjahren im Sinne von Versuchen zur Ertragsreduzierung bei gleichzeitiger Qualitätssteigerung von MP-Reben angewandt. Dieses Ziel entspricht nicht der Indikation nach §11(2) PflSchuG ‚Gefahr im Verzuge‘ zur Bekämpfung der *Essigfäule an Weinreben*.

4 Zusammenfassung

Minimale Schnittmethoden gelten seit deren Einführung in den 1970er Jahren in Australien als die extensivste und ökonomischste Form der Kultivierung von *Vitis vinifera* L. Sorten weltweit. Vorliegende Studie befasst sich mit Problemstellungen und Besonderheiten eines derart revolutionären Bewirtschaftungskonzeptes bei *Vitis vinifera* L. cv. Riesling unter den Anbaubedingungen Mitteleuropas.

Die Hypothese einer seitens der weinbaulichen Praxis und Beratung in Deutschland häufig in Frage gestellten Nachhaltigkeit in Bezug auf die Reserven an Kohlehydraten und Stickstoff nach mehrjährigem minimalen Schnitt konnte anhand vorliegender Ergebnisse widerlegt werden. Reservestoffe wurden im zeitlichen Verlauf nicht zu limitierenden Faktoren bei der Anwendung von MP.

Die langjährige Dynamik des Pools an Kohlehydraten, individueller Kohlehydrate sowie Stickstoff verschiedener Holzfraktionen minimal geschnittener (MP) und geschnittener (VSP) Reben verlief analog. Demnach sind die Mechanismen der Mobilisierung und Bildung von Reserven weitgehend unabhängig vom jeweiligen Erziehungssystem zu betrachten.

Die auf phänologische Entwicklungsstadien bezogenen Konzentrationen an Kohlehydraten verschieden alter Holzfraktionen lagen für MP tendenziell leicht unter denen von VSP, wobei absolute Werte je Pflanze aufgrund einer deutlich höheren Trockenmasse des gesamten Holzkörpers von MP wesentlich höher liegen. Für Stickstoff konnten insgesamt höhere Konzentrationen und somit auch absolut höhere Werte je Pflanze bei MP festgestellt werden. Die Mobilisierung und Bildung der Reserven an Stickstoff korrelierten dabei eng mit der Blattflächenentwicklung, die eine weitaus höhere Dynamik für MP aufwies.

Über mehrere Jahre fallende Wasserpotentialwerte wiesen zu Reifebeginn einen reduzierenden Effekt auf die Gehalte an gesamten Kohlehydraten und Stickstoff im Holzkörper beider Systeme auf. Wegen einer größeren Blattfläche und der dadurch bedingten höheren Transpiration je Pflanze und Standraum bei MP zeigte dieses System während der Vegetation allgemein niedrigere Blattwasserpotentialwerte. Dieser Unterschied zwischen beiden Systemen war während des Sommers bis zur Ernte stark ausgeprägt. Eine dadurch induzierte vorzeitige Blattseneszenz mag für eine frühere Rückverlagerung von Stickstoff aus den Blättern in perennierende Reborgane bei MP von Bedeutung gewesen sein.

Trotz der kleineren Blätter von MP, wies dieses System wegen einer bis zu 17fach höheren Triebzahl eine 2,5 bis 3fach höhere Blattfläche gegenüber VSP auf. Anhand der Vielzahl der Vegetationspunkte von MP zeigte sich hier vor allem zu Beginn der Vegetation eine deutlich schnellere Blattflächenentwicklung. Eine höhere Blattfläche und deren rasantere Entwicklung zu Vegetationsbeginn sowie eine größere räumliche Ausdehnung bei MP beeinflussten die Lichtinterzeption innerhalb eines Tagesverlaufs und während der gesamten Vegetation.

Die Assimilationsleistung einzelner Laubwandsegmente beider Systeme war dabei von der jeweils interzeptierten Lichtmenge determiniert, sofern Trockenstress, hohe Blatttemperaturen bzw. Wasserdampfsättigungsdefizite die Leistungsfähigkeit der Reben nicht limitierten. Südlich und apikal inserierte Segmente interzeptierten die höchsten Lichtquantitäten. Eine insgesamt höhere Lichtinterzeption von MP begründete einen höheren Wasserverbrauch und negativere Blattwasserpotential über große Phasen der Vegetationsperiode und reduzierte die Assimilationsleistung sowie die stomatäre Leitfähigkeit individueller Segmente. Trotz der höheren Reduktion des Gaswechsels exponierter Segmente bei Trockenstress lag der geschätzte Netto-Kohlenstoffgewinn desselben über die gesamte Vegetation höher als für Segmente, die weniger Licht ausgesetzt waren.

Die modellierte nächtliche Respiration der gesamten Blattfläche verringerte den täglichen Kohlenstoffgewinn je nach phänologischem Entwicklungsstadium, Länge der Nachtphase und Nachttemperatur um 3 bis 7 % bei einer geringfügig höheren Dissimilation für MP. Die geschätzte Netto-Kohlenstoffassimilation war in allen peripheren Segmenten und auf Basis der Gesamtpflanze für MP wegen der deutlich gesteigerten Blattfläche höher als für VSP. Der gesamte Gewinn der saisonalen Kohlenstoffakkumulation bei MP gegenüber VSP entsprach dabei in etwa dem Verhältnis der gesteigerten Blattfläche.

Minimal geschnittene Reben aller Versuchsflächen dieser Studie wiesen, wie zu erwarten, deutlich höhere Mengenerträge im Vergleich zu geschnittenen Vergleichsreben auf. Gesetzlich vorgeschriebene Hektarhöchstserträge wurden von MP bei weitem überschritten. Dies ging mit einer verzögerten Reife und niedrigeren Mostzuckergehalten jedoch teils höheren Mostsäurewerten zum Erntezeitpunkt einher. Vor diesem Hintergrund stellt die bisher für die Weinbauliche Praxis nicht befriedigend gelöste Problematik einer praktikablen Ertragsreduzierung bei gleichzeitiger

Qualitätssteigerung das größte Hindernis einer weitläufigen Etablierung des Konzeptes von MP. Allerdings wurden in allen Jahren und Versuchsflächen gebietsbezogene gesetzliche Mindestanforderungen im Mostgewicht zur Erzeugung von Qualitätswein bei MP auch ohne Ertragsregulierung erreicht.

Der Einsatz des Pflanzenhormons Gibberellinsäure (GA_3) zur Teilentfruchtung führte teils zu einem verstärkten Verrieseln von Blüten und jungen Beeren im Jahr der Applikation sowie zur Reduzierung der Augenfruchtbarkeit als Nachwirkung im folgenden Jahr. Dabei war eine Reduzierung des Ertrages über die Folgewirkung auf die Augenfruchtbarkeit deutlich stärker als der unmittelbare Effekt im Jahr der Anwendung, der abhängig von Witterungsbedingungen zum Zeitpunkt der GA_3 -Applikation und dem exakten Applikationszeitpunkt während der Blütephase auch zu einer Ertragserhöhung führen konnte.

Bei einem jährlich wiederholten Einsatz von GA_3 zum Zeitpunkt der Blüte konnten ab dem zweiten Anwendungsjahr auf diese Weise die Erträge deutlich reduziert und die Mostqualitäten angehoben werden. Positive Merkmale von MP wie wenig fäulnisanfällige und lockere Trauben mit kleinen Beeren wurden in behandelten Varianten weitgehend beibehalten. Eine über die Jahre alternierende Applikation von GA_3 führte zu starken Alternanzphänomenen hinsichtlich des Ertrages und kann daher nicht empfohlen werden.

Eine toxische Wirkung auf die Winterknospen konnte bei den angewandten Aufwandmengen und Applikationszeitpunkten dieser Studie bei minimal geschnittenen Rieslingreben hingegen nicht festgestellt werden.

Durch die Ertragsreduzierung bzw. andere physiologische Wirkungen von GA_3 kam es zudem zu einer deutlichen Entlastung des Trockenstresses der mit GA_3 behandelten Reben mit teilweise positiven Auswirkungen auf die assimilatorische Leistungsfähigkeit der Blätter. Dies könnte wesentlich zu einer besseren Traubenqualität beigetragen haben und die eventuell durch das Wachstumshormon GA_3 hervorgerufene reifeverzögernde Wirkung mehr als kompensiert haben.

Der in dieser Studie verfolgte neuartige Ansatz einer chemischen Ertragsreduzierung mit Hilfe von GA_3 weist den Weg einer möglichen sehr gezielten Ertragsreduzierung, die sich gegebenenfalls auf bestimmte Laubwandzonen mit geringeren Traubenqualitäten beschränken lässt. Erste Untersuchungen, welche eine solche Strategie verfolgen, verliefen positiv, können jedoch noch nicht abschließend bewertet werden.

Aufgrund der derzeitigen rechtlichen Situation der Zulassung gibberellinsäurehaltiger Pflanzenschutzmittel im Weinbau in der Bundesrepublik Deutschland und aufgrund der mangelnden langfristigen Erfahrung mit den Auswirkungen ist ein derzeitiger Einsatz von GA₃ zur Indikation einer Teilentfruchtung bei Anwendung des Konzeptes von MP nicht gestattet bzw. kann derzeit nicht empfohlen werden. Die hier gemachten Beobachtungen und Aussagen bezüglich der Wirkung auf Reben und Trauben mögen bei weiteren Rieslingklonen bzw. anderen Sorten von *Vitis* und anderen Standorten andersartig ausfallen. Diese Fragen zu klären und hierüber den Entwicklungsprozess von MP in Mitteleuropa weiter zu führen bleibt daher weiteren Untersuchungen vorbehalten.

5 Literaturverzeichnis

- Alleweldt, G. 1961a. Weitere Untersuchungen über die sortenspezifische Gibberellinreaktion der Reben. Z. Pflanzenzücht. 45: 178-193.
- Alleweldt, G. 1961b. Untersuchungen über die Kausalität zwischen Gibberellinbehandlung und Austriebshemmung bei Reben. Vitis 2: 266-282.
- Aloni, R. 1985. Plant growth method and composition. USA Patent No. 4,507,144.
- Aloni, R. 1987. Differentiation of vascular tissue. Ann. Rev. Plant Physiol. 38: 179-204.
- Babó, T. 1981. Weinbau ohne Rebschnitt. Der Deutsche Weinbau 5: 182-183.
- Bangerth, F., Götz, G. 1975. Zur Wirkung von Gibberellinsäure- und Kinetinapplikationen auf Qualität und Ertrag verschiedener Sorten von *Vitis vinifera* L. Vitic. Enol. Sci. 30: 121-128.
- Basra, A.S. 2000. Plant growth regulators in agriculture and horticulture - their role and commercial uses. Food Products Press - The Hawarth Press, Inc., Binghampton, USA, pp. 264
- Bates, T.R, Dunst, R.M., Joy, P. 2002. Seasonal dry matter, starch, and nutrient distribution in 'Concord' grapevine roots. HortScience 37: 313-316.
- Bauer, K. 2002. Minimalschnittsystem beim Grünen Veltliner. Der Winzer (1): 8-12.
- Biewers, M. 2004. Reaktionen in Qualitäts- und abiotischen Resistenzparametern bei verschiedenen Rebsorten nach einer Blüteapplikation mit Gibberellinsäure. Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden-Geisenheim, Standort Geisenheim, pp. 140.
- Bravdo, B.A., Hepner, Y., Loinger, C., Cohen, S., Tabacman, H. 1985. Effect of Irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. Am. J. Enol. Vitic. 36: 132-139.
- Candolfi-Vasconcelos, M.C., Candolfi, M.P., Koblet, W. 1994. Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissues into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in *Vitis vinifera* L. Planta 192: 567-573.
- Carbonneau, A. 1991. Bilan de résultats d'analyse sensorielle de la qualité des vins de divers systèmes de conduite. Riv. Vitic. Enol. 4: 335-344.
- Cheng, L.A., Xia, G., Bates, T. 2004. Growth and fruiting of young 'Concord' grapevines in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 129: 660-666.
- Cirami, R.M., McCarthy, M.G., Furkaliev, D.G. 1985. Minimal pruning of Shiraz vines - effects on yield and wine colour. Aust. Grapegrow. Winemaker 24: 26-27.
- Clingeleffer, P.R. 1983. Minimal pruning – its role in canopy management and implications for its use in the wine industry. In: Advances for Viticulture and

- Oenology for Economic Gain. Proceedings of the Fifth Australian Wine Industry Technical Conference, Perth, pp. 133-145.
- Clingeleffer, P.R. 1984. Production and growth of minimal pruned Sultana vines. *Vitis* 23: 42-54.
- Clingeleffer, P.R. 1988. Response of Riesling clones to mechanical hedging and minimal pruning of cordon trained vines (MPCT) - implications for clonal selection. *Vitis* 27: 87-93.
- Clingeleffer, P.R. 1989. Update: Minimal pruning of cordon trained vines (MPCT). *The Aust. Grapegrow. Winemaker* 304: 78-83.
- Clingeleffer, P.R. 1992. Development of management systems for low cost, high quality wine production and vigour control in cool climate Australian vineyards. *Proc. 3rd Intl. Cool Climate Viticult. Symp.*, Geisenheim, pp. 130-134.
- Clingeleffer, P.R. 1993. Vine response to modified pruning practices. *Proc. 2nd N.J. Shaulis Grape Symp.*, Fredonia, New York, pp. 20-30.
- Clingeleffer, P.R., May, P. 1980. Mechanical and minimal pruning of wine grapes. *Proc. Workshop on Mechanical Pruning of Grapevines. Rosworthy Agricultural College Technical Bulletin No. 2*: 10-12.
- Clingeleffer, P.R., Possingham, J.V. 1987. The role of minimal pruning of cordon trained vines (MPCT) in canopy management and its adoption in Australian viticulture. *Aust. Grapegrow. Winemaker* 280: 7-11.
- Clingeleffer, P.R., Krake L.R. 1992. Responses of Cabernet franc grapevines to minimal pruning and virus infection. *Am. J. Enol. Vitic.* 43: 31-37.
- Clingeleffer, P.R., Petrie, P.R., Ashley, R.M. 2005. Suitability of minimal pruning and other low-input systems for warm and cool climate grape production. In: *Proc. 14th GESCO Meeting, Geisenheim, Germany*, pp. Vol. 1: pp. 2-9.
- Conradie, W.J. 1980. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture. I. Nitrogen. *South Afr. J. Enol. Vitic.* 1: 59-65.
- Cote, B., Dawson, J.O. 1986. Autumnal changes in total nitrogen, salt extractable proteins and amino acids in leaves and adjacent bark of black elder, eastern cottonwood and white basswood. *Physiol. Plant.* 67: 102-108.
- Davies, P.J. 2004. *Plant Hormones. Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 750.
- Downton, W.J.S., Grant, W.J.R. 1992. Photosynthetic physiology of spur pruned and minimal pruned grapevines. *Aust. J. Plant Physiol.* 19: 309-316.
- Downton, W.J.S., Grant, W.J.R., Loveys, B.R. 1987. Diurnal changes in the photosynthesis of field-grown grape vines. *New Phytol.* 105: 71-80.
- Dry, P.R. 1983. Grapevine response to mechanical pruning. *Proc. of a seminar in Coonawarra, South Australia. Australian Society of Viticulture and Oenology. Glen Osmond, South Australia*, pp. 7-12.

- Dry, P.R. 2000. Canopy management for fruitfulness. *Aust. J. Grape and Wine Research* 6: 109-115.
- Eichhorn, K.W., Lorenz, D.H. 1977. Phänologische Entwicklungsstadien der Rebe. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 29: 119-120.
- Eifert, T.J., Panczel, M., Eifert, A. 1961. Änderung des Stärke- und Zuckergehaltes der Rebe während der Ruheperiode. *Vitis* 2: 257-264.
- Emmet, R.W., Clingeleffer, P.R., Wicks, T.J., Nair, N.G., Hall, B., Hart, K.M., Clarke, K., Somers, T. 1995. Influence of canopy architecture on disease development. In: *Canopy Management, Proceedings of a Seminar*. P. Hayes (Ed.), 18 August 1994, Mildura, Victoria, Australia, pp. 22-24.
- Escalona, J.M., Flexas, J., Bota, J., Medrano, H., 2003. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis* 42: 57-64.
- Falcetti, M., Stringari, G., Bogoni, M., Scienza, A. 1995. Relationships among pedo-climatic conditions, plant available water and nutritional status of grapevines. *Acta Hort.* 383: 289-298.
- Fendinger, A.G., Pool, R.M., Dunst, R.M., Smith, R. 1996. Effect of mechanical thinning minimally-pruned 'Concord' grapevines on fruit composition. In: *Proc. 4th Int. Symp. Cool Climate Vitic. Enol.*, 16–20 June, Rochester, pp. IV13-IV17.
- Fox, R., Steinbrenner, P. 2003. Minimalschnitterziehung. Erste Ergebnisse aus Württemberg. *Rebe und Wein* (1): 25-28.
- Fisher, K.H., Piott, B., Tancock, T. 1996. Estimating Concord crops for machine thinning accuracy. In: *Proc. 4th Int. Symp. Cool Climate Vitic. Enol.*, 16–20 June, Rochester, pp. IV 28-32.
- Freeman, B.M. 1977. Griffith experiments in mechanical pruning. Third Australian Wine Industry Technical Conference, Albury, NSW, Australian Wine Research Institute. Glen Osmond, South Australia, pp. 55-56.
- Freeman, B.M. 1982. Experiments on vine hedging for mechanical pruning. *Grape and Wine Centennial Symposium Proceedings*. University of California, Davis California, pp. 261-263.
- Freeman, B.M., Smart, R.E. 1976. Research note: A root observation laboratory for studies with grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 27: 36-39.
- Glad, C., Regnard, J.L., Querou, Y., Brun, O., Morot-Gaudry, J.F. 1992. Flux and chemical composition of xylem exudates from Chardonnay grapevines: Temporal evolution and effect of recut. *Am. J. Enol. Vitic.* 43: 275-282.
- Gladstones, J.S. 1992. *Viticulture and Environment*. Winetitles, Adelaide, Australia, pp. 310.
- Götz, G. Petgen, M. 2005. Stiellähme: Was steckt dahinter? *Das Deutsche Weinmagazin* (1): 29-33.

- Gruber, B.R., Schultz, H.R. 2005. Water relations of grapevines in steep slope viticulture. In: Proc. 14th GESCO Meeting, Forschungsanstalt Geisenheim, Germany, pp. Vol. 1: 89-95.
- Hamman, R.A. Jr., Dami, I.-E., Walsh, T.M., Stushnoff, C. 1996. Seasonal carbohydrate hardness of Chardonnay and Riesling grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 47: 31-36.
- Harrell, D.C., Williams, L.E. 1987a. The influence of girdling and gibberellic acid application at fruit-set on Ruby Seedless and Thompson Seedless grapes. Am. J. Enol. Vitic. 38: 83-88.
- Harrell, D.C., Williams, L.E., 1987b. Net CO₂ assimilation rate of grapevine leaves in response to trunk girdling and gibberellic acid application. Plant Physiol. 83: 457-459.
- Hill, G., Spies, S., Prior, B. 2000. Minimalschnitt zur Bewirtschaftung abgängiger Rebanlagen: Auf dem Prüfstand. Das Deutsche Weinmagazin (16-17): 10-14.
- Hollick, R.R. 1977. Machine use in mechanical pruning. Third Australian Wine Industry Technical Conference, Albury, NSW, Australian Wine Research Institute. Glen Osmond, South Australia, p. 54.
- Hollick, R.R. 1982. Mechanical pruning of vines in Australia. Grape and Wine Centennial Symposium Proceedings. University of California, Davis California, pp. 264-265.
- Hügelschäffer, P 1988. Reaktionen von Reben (*Vitis vinifera* L.) cv. Riesling und Müller-Thurgau auf Sommerschnittbehandlungen - Fünfjährige Ergebnisse von drei Feldversuchen im Rheingau mit besonderer Berücksichtigung der Verteilung von Trockenmasse, Stärke, Glucose und Fructose. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, Deutschland, pp. 167.
- Iacono, F., Barbera, L., Porro, D. 1998. Prime esperienze di potatura minima in clima caldo-arido sulla varietà "Chardonnay": Sviluppo della chioma, attività fotosintetica e risultati quanti-qualitativi. Italus Hortus 3: 3-10.
- Intrieri, C., Poni, S., Lia, G., Gomez del Campo, M. 2001. Vine performance and leaf physiology of conventionally and minimally pruned Sangiovese grapevines. Vitis 40: 123-130.
- Jackson, R.S. 2000. Wine Science - Principles, Practice, Perception, Second Edition. Academic Press - An Imprint of Elsevier, San Diego, California, USA, pp. 648.
- Jackson, D., Schuster, D. 1994. The production of grapes and wine in cool climates. Gypsum Press and Daphne Brasell Associates Ltd., Wellington, New Zealand, 193.
- Kidd, C. H. 1987. Minimal Pruning. In: Proc. 6th Austral. Wine Industry Tech. Conf. Adelaide: 212-213.
- Koblet, W., Perret, P. 1985. Influence of old vine wood on yield and quality. Vitic. Enol. Sci. 40: 228-237.

- Korkas, E. 1994. Die Dynamik „nicht-struktureller“ Kohlenhydrate in Reben (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) im Verlauf zweier Vegetationsperioden unter dem Einfluss einer langjährig variierten Stickstoffdüngung. Inaugural-Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität, Bonn, Germany, pp. 277.
- Korkas, E., Schaller, K., Löhnertz, O., Lenz, H. 1994a. Dynamic of ‚non-structural carbohydrates‘ in grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. White Riesling) during two growing seasons and with special consideration of N-fertilization. Part I: Before and during the phase of budburst. *Vitic. Enol. Sci.* 49: 86-89.
- Korkas, E., Schaller, K., Löhnertz, O., Lenz, H. 1994b. Dynamic of ‚non-structural carbohydrates‘ in grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. White Riesling) during two growing seasons and with special consideration of N-fertilization. Part II: After budburst until fruit set. *Vitic. Enol. Sci.* 49: 197-208.
- Korkas, E., Schaller, K., Löhnertz, O., Lenz, H. 1996a. Dynamic of ‚non-structural carbohydrates‘ in grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. White Riesling) during two growing seasons and with special consideration of N-fertilization. Part III: Fruit set until harvest. *Vitic. Enol. Sci.* 51: 40-51.
- Korkas, E., Schaller, K., Löhnertz, O., Lenz, H. 1996b. Dynamic of ‚non-structural carbohydrates‘ in grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. White Riesling) during two growing seasons and with special consideration of N-fertilization. Part IV: After harvest. *Vitic. Enol. Sci.* 51: 98-102.
- Korkas, E., Schaller, K., Löhnertz, O., Lenz, H. 1999. Dynamic of ‚non-structural carbohydrates‘ in grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. White Riesling) during two growing seasons and with special consideration of N-fertilization. Part V: Carbohydrates distribution in the vegetative organs. *Vitic. Enol. Sci.* 54: 121-129.
- KTBL 2004. Weinbau und Kellerwirtschaft – KTBL Datensammlung. 12. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), KTBL-Schriften-Vertreib im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, pp. 92.
- Kühn, C., Barker, L., Bürkle, L., Frommer, W.B. 1999. Update on sucrose transport in higher plants. *J. Exp. Bot.* 50: 935-953.
- Lambers, H., Atkin, O.K., Millenar, F.F. 2002. Respiratory patterns in roots in relation to their functioning. In: Plant roots. The hidden half. Y. Waisel, A. Eshel, and K. Kafkafi (Eds.). Marcel Dekker, New York, USA, pp. 521-552.
- Lakso, A.N. 1999. Physiology of minimal versus normal pruning of Concord grapes. *Proc. Mich. State Hort. Soc.* 128: 138-141.
- Lakso, A.N., Denning, S.S., Dunst, R., Fendinger, A., Pool, R.M. 1996. Comparison of growth and gas exchange of conventionally and minimally pruned ‘Concord’ grapevines. In: Proc. 4th Int. Symp. Cool Climate Vitic. Enol., 16 – 20 June, Rochester, pp. IV 11-IV 12.
- Lebon, E., Schultz, H.R. 1996: Photosynthèse et conductance stomatique de la vigne a l’échelle du couvert pendant un stress hydrique II. Validation du modèle. In: Proc. 9th GESCO Meeting, Univ. Horticulture and Food Industries, Budapest, Hungary, pp. 157-168.

- Löhnertz, O. 1988. Nährstoffelementaufnahme von Reben im Verlauf eines Vegetationszyklus. Mitt. Klosterneuburg 38: 124-129.
- Loescher, W.H., McCamant, T., Keller, J.D. 1990. Carbohydrates reserves, translocation and storage in woody plant roots. HortScience 25: 274-281.
- Martínez de Toda, F., Sancha J.C. 1998. Long-term effects of zero pruning on Grenache vines under drought conditions. Vitis 37: 155-157.
- May, P. 1972, Mechanical harvesting of grape vines. Australian Grapegrower and Winemaker 105: 3-5.
- May, P. 2004. Flowering and fruitset in grapevines. Lythrum Press, South Australia, pp. 119.
- May, P., Clingeleffer, P.R. 1977. Mechanical pruning of grapevines. Australian Wine, Brewing and Spirit Review 96: 36-38.
- McCarthy, M.G., Ciriaco, R.M. 1990. Minimal pruning effects on the performance of selections of four *Vitis vinifera* cultivars. Vitis 29: 85-96.
- Molitor, D., Weyand, K.M., Schultz, H.R. 2003. Nichtschnittsystem an der Mittelmosel: Lässt sich die Rebe antiautoritär erziehen? Das Deutsche Weinmagazin (2): 16-19.
- Monselise, S.P., Lenz, F. 1980. Effect of fruit load on stomatal resistance, specific leaf weight and water content of apple leaves. Gartenbauwissenschaft 45: 188-191.
- Mooney, H.A., Gartner, B.L. 1991. Reserve Economy of Vines. In: The biology of vines. F.E. Putz. and H.A. Mooney (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK, pp. 161-179.
- Morris, J.R., Kattan, A.A., Arrington, E.H. 1962. Response of Elberta peaches to the interactive effects of irrigation, running and thinning. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 80: 177-189.
- Murisier, F.M. 1996. Optimisation du rapport feuille-fruit de la vigne pour favoriser la qualité du raisin et l'accumulation des glucides de réserve. Relation entre le rendement et la chlorose. Dissertation, Ecole Polytechnique Federale de Zürich, Switzerland, pp. 132.
- Neckerauer, B. 1997. Untersuchungen zur maschinellen Teilentfruchtung im Weinbau. Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden-Geisenheim, Standort Geisenheim, pp. 48.
- Ollat, N., Sommer, K.J., Pool, R.M., Clingeleffer, P.R. 1993. Quelques résultats sur la taille minimale en Australie et en France. In: Proc. 6th GESCO Meeting, Reims, France, pp. 181-183.
- Papargyriou, E. 2003. Veränderungen von glykosidisch gebundenen Sekundärmetaboliten bei *Vitis vinifera* L. (cvs. Gewürztraminer und Riesling) in Zusammenhang mit Traubenreife, Weinbereitung und Weinlagerung. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, pp. 151.

- Pollock, J.G., Shepardson, E.S., Shaulis, N.J., Crowe, D.E. 1977. Mechanical pruning of American hybrid grapevines. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 20: 817-821.
- Poni, S., Intrieri, C., Magnanini, E. 2000. Seasonal growth and gas exchange of conventionally and minimally pruned Chardonnay canopies. *Vitis* 39: 13-18.
- Poni, S., Magnanini, E., Bernizzoni, F. 2003. Degree of correlation between total light interception and whole-canopy net CO₂ exchange rate in two grapevine growth systems. *Aust. J. Grape and Wine Res.* 9: 2-11.
- Pool, R.M. 1995. Predicting and controlling crops of machine and minimal pruned grapevines. In: *Proceedings for the International ATW-Symposium: Technik im Weinbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany, 364.* 11-22.
- Pool, R.M., Dunst, R., Kamsa, J. 1994. Predicting and adjusting crop of minimal or machine pruned Concord grapevines. *Proc. of the 45th Am. Soc. Enol. Vitic. Ann. Meeting, Am J. Enol. Vitic.* 45: 365.
- Possingham, J.V., Clingeleffer, P.R. 1994. Low cost management systems for premium wine grape varieties. *Proc. of the 45th Am. Soc. Enol. Vitic. Ann. Meeting, Am J. Enol. Vitic.* 45: 366.
- Reynolds, A.G. 1988. Response of Okanagan Riesling vines to training system and simulated mechanical pruning. *Am. J. Enol. Vitic.* 39: 205-212.
- Reynolds, A.G, Wardle, D.A. 2001. Research Note: Evaluation of minimal pruning upon vine performance and berry composition of Chancellor. *Am. J. Enol. Vitic.* 52: 45-48.
- Riou, C., Valancogne, C., Pieri, P. 1989. A simple model for interception of solar radiation by a vineyard – comparison with field data. *Agronomie* 9: 441-450.
- Riou, C., Pieri, P., Le Clech, B. 1994. Water use of grapevines well supplied with water. Simplified expression of transpiration. *Vitis* 33: 109-115.
- Roper, T.R., Williams, L.E. 1989. Net CO₂ assimilation and carbohydrate partitioning of grapevine leaves in response to trunk girdling and gibberellic acid application. *Plant Physiol.* 89: 1136-1140.
- Rühl, E.H., P.R. Clingeleffer. 1993. Effect of minimal pruning and virus inoculation on the carbohydrate and nitrogen accumulation in Cabernet franc vines. *Am. J. Enol. Vitic.* 44: 81-85.
- Rühling, W. 1999. Maschinelles Ausdünnen. *Ausschuss für Technik im Weinbau Nr. 91, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany, pp. 32.*
- Sartorius, O. 1952. Das Güte-Menge-Gesetz. *Der Weinbau - Wissenschaftliche Beihefte* 6: 83-84.
- Schaller, K., Löhnertz, O., Geiben, R., Breit, N. 1989. N-Stoffwechsel von Reben. 1. Mitteilung: N- und Arginindynamik im Holzkörper der Sorte Müller-Thurgau im Verlaufe einer Vegetationsperiode. *Vitic. Enol. Sci.* 44: 91-101.

- Schmid, J., Schultz, H.R. 2000. Influence of two training systems and irrigation on water consumption of grapevines in the field. *ActaHort.* 537: 587-595.
- Scholefield, P.B., Neales, T.P., May, P. 1978. Carbon balance of the sultana vine (*Vitis vinifera* L.) and the effects of autumn defoliation by harvest pruning. *Aust. J. Plant Physiol.* 5: 561-570.
- Schultz, H. R. 1991. Seasonal and nocturnal changes in leaf age dependent dark respiration of grapevine sun and shade leaves. Modelling the temperature effect. *Vitic. Enol. Sci.* 46: 129-141.
- Schultz, H.R. 2001. Minimalschnitt. Teil 1: Alternative zu bestehenden Produktionssystemen? *Der Deutsche Weinbau* (11): 30-34.
- Schultz, H.R. 2002. Minimalschnittsysteme. Ausschuss für Technik im Weinbau, Bericht 109, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany, pp. 71.
- Schultz, H.R., Cuevas, E., Lissarrague, J.R., Schmid, J. 1999a. Estimating water consumption and photosynthesis of minimal pruned (MP) and vertical shoot positioned (VSP) canopies. In: *Proc. 11th GESCO Meeting*, Sicily, Italy, pp. 200-210.
- Schultz, H.R., Weber, M., Gaubatz, B. 1999b. Minimal- oder Nichtschnittsysteme: Es funktioniert doch. *Das Deutsche Weinmagazin* (25): 26-31.
- Schultz, H.R., Kraml, S., Werwitzke, U., Zimmer, T., Schmid, J. 2000. Adaptation and utilization of minimal pruning systems for quality production in cool climates. *Am. J. Enol. Vitic.* 51: 185-190.
- Schultz, H.R., Weyand, K.M. 2005. Minimal pruning systems for cool climate production – past and future-. In: *Proc. 14th GESCO Meeting*, Geisenheim, Germany, pp. Vol. 1: pp. 11-16.
- Schwab, A., Nüßlein, R. 2002. Minimalschnitterziehung. Erste Versuchsergebnisse aus Franken. *Rebe und Wein* (11): 19-23.
- Schwab, A., Nüßlein, R. 2005. Minimalschnitterziehung – Ergebnisse aus Franken. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. http://www.lwg.bayern.de/weinbau/rebenanbau_qualitaetsmanagement/14164.
- Sommer, K.J. 1995. Mechanisierung des Rebschnittes in Australien. In: *Proceedings for the International ATW-Symposium: Technik im Weinbau*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany, KTBL-Schrift 364: 23-50.
- Sommer, K.J., Clingeleffer, P.R. 1993. Comparison of leaf area development, leaf physiology, berry maturation, juice quality and fruit yield of minimal and cane pruned Cabernet Sauvignon grapevines. In: *Proc. 2nd N. Shaulis Symp. on "Pruning mechanization and crop control"*, Fredonia, New York, USA, pp. 14-19.
- Sommer, K.J., Clingeleffer, P.R., Ollat, N. 1993. Effects of minimal pruning on grapevine canopy development, physiology and cropping level in both cool and warm climates. *Vitic. Enol. Sci.* 48: 135-139.

- Srinivasan, C., and Mullins, M.G. 1981. Physiology of flowering in the grapevine – A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 32: 47-63.
- Striegler, R.K., Berg, G.T. 1994. Evaluation of machine and minimal pruning of French Colombard grapevines. *Proc. of the 45th Am. Soc. Enol. Vitic. Ann. Meeting*, *Am J. Enol. Vitic.* 45: 365-366.
- Striegler, R. K., Lake, C.B., Morris, J.R., Threfall, R.T., Main, G.L., Graves. S.G. 2002. Minimal input production systems affect yield and juice quality of 'Sunbelt' grapes in California's San Joaquin Valley. *HortSciences* 37: 867-870.
- Swain, S.M., Singh, D.P. 2005. Tall tales from sly dwarves: novel functions of gibberellins in plant development. *Trends in Plant Science* 10: 123-129.
- Swanson, C.A., El-Shishiny, E.D.H. 1958. Translocation of sugars in the Concord grape. *Plant Physiol.* 33: 33-37.
- Tassie, E., Freeman, B.M. 1992. Pruning. In: *Viticulture - Volume 2 Practices*. Winetitles, Adelaide, Australia, pp. 66-84.
- Tromp, J. 1983: Nutrient reserves in roots of fruit trees, in particular carbohydrates and nitrogen. *Plant and Soil.* 71: 401-413.
- Valenzuela, B.J., 1975. Effects of gibberellic acid on yield and berry characters of grapes (*Vitis vinifera* L.) cultivar Moscatel Rosada. *Agricult. Tec.* 35: 85-89.
- Varlet-Grancher, C., Gosse, G., Chartier, M., Sinoquet, H., Bonhomme, R., Allirand, J.M. 1989. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. *Agronomie* 9: 419-439.
- Vogt, E., Schruft, G. 2000. *Weinbau*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Germany, pp. 456.
- Weaver, R.J. 1960. Toxicity of gibberellin to seedless and seeded varieties of *Vitis vinifera*. *Nature* 187: 1135-1136.
- Weaver, R.J. 1976. *Grape growing*. John Wiley & Sons, Inc., USA, 371.
- Weaver, R.J., McCune, S.B. 1961. Effect of gibberellin on vine behavior and crop production in seeded and seedless *Vitis vinifera*. *Hilgardia* 30: 425-444.
- Weaver, R.J., Alleweldt, G., Pool, R.M. 1966. Absorption and translocation of gibberellic acid in the grapevine. *Vitis* 5: 446-454.
- Werwitzke, U. 2003. Einfluss der Pflanzenernährung, weinbaulicher Maßnahmen und der mikrobiologischen Rahmenbedingungen auf glykosidisch gebundene Inhaltsstoffe in *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, Deutschland, pp. 234.
- Williams, L.E. 1996. Grape. In: *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops: Source-Sink Relationships*. E. Zamski and A.A. Schaffer (Eds.), Marcel Dekker, New York, USA, pp. 851-883.

- Williams, L.E., Ayars, J.E. 2005a. Water use of Thompson Seedless grapevines as affected by the application of gibberellic acid (GA₃) and trunk girdling - practices to increase berry size. *Ag. Forest. Met.* 129: 85-94.
- Williams, L.E., Ayars, J.E. 2005b. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Ag. Forest. Met.* 132: 201-211.
- Winkler, A.J., Williams, W.O. 1945. Starch and sugars of *Vitis vinifera*. *Plant Physiol.* 20: 412-432.
- Winkler, A.J. 1958. The relation of leaf area and climate to vine performance and grape quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 9:10-23.
- Winkler, A.J., Cook, J.A. Kliewer, W.M., Lider L.A. 1974. General Viticulture. University of California Press, Berkeley, USA, pp. 633.
- Wohlfahrt, P. 2001. Was leisten Nichtschnitt-Systeme? *Der badische Winzer* (5): 66-68.
- Wohlfahrt, P. 2005. Fünf Jahre Nichtschnittssysteme. *Der badische Winzer* (2): 20-22.
- Yang, Y.S., Hori, Y. 1980. Studies on retranslocation of accumulated assimilates in 'Delaware' grapevines. III. Early growth of new shoots as depending on accumulated and current year reserves. *Tohoku J. Agric. Res.* 31: 120-129.
- Zabadal, T.J., VanEe, G.R., Dittmer, T.W., Ledebuhr, R.L. 1996. Evaluation of chemical crop thinning methods for mechanical pruned 'Concord' grapevines. In: *Proc. 4th Int. Symp. Cool Climate Vitic. Enol.*, 16-20 June, Rochester, pp. IV 18-IV 23.
- Zapata, C., Deléens, E., Chaillou, S., Magné, C. 2004. Partitioning and mobilization of starch and N reserves in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. of Plant Physiol.* 161: 1031-1040.
- Zimmer, T. 1998. Reservestoffhaushalt und Laubwandmorphologie bei Normal- und Minimalschnittsystemen. Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden-Geisenheim, Standort Geisenheim, pp. 87.
- Ziv, M., Melamud, H., Bernstein, Z., Lavee, S. 1981. Necrosis in grapevine buds (*Vitis vinifera* cv. Queen of Vineyard) II. Effect of gibberellic acid (GA₃) application. *Vitis* 20: 105-114.
- Zufferey, V., Murisier, F. 1997. Orientation des ranges de vigne et interception de l'énergie lumineuse par le feuillage. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 29: 239-243.

6 Anhang

6.1 Einige Gedanken zur Oenologie in Abhängigkeit von der Most- und Weinanalytik sowie eine kurze Bewertung der grundlegendsten Befunde der Verkostungsergebnisse der Weine

Eine Auswahl der Versuchsglieder wurde in 2002 und 2003 definiert standardisiert und naturrein mit gängigen oenologischen Verfahren im Versuchsweinkeller der Forschungsanstalt Geisenheim - Fachgebiet Kellerwirtschaft zu Versuchsweinen vinifiziert und nach dem Ausbau in Schraubflaschen aus Glas gefüllt (Versuchsweinausbau siehe Manuskript IV, Material and Methods, Winemaking and sensory evaluation).

In den vom Fachgebiet Kellerwirtschaft erstellten Weinhandelsanalysen spiegeln sich im wesentlichen die unmittelbar nach der Ernte in den gepressten Mosten gefundenen analytischen Unterschiede des Mostzuckers, des Säuregehaltes und der jeweiligen pH-Werte zwischen einzelnen Versuchsgliedern wider (Tab. A1).

Positiv zu bewertende tendenziell höhere Werte des zuckerfreien Extraktes aller Varianten von MP im Vergleich zu VSP in beiden Jahren lassen sich spekulativ über ein höheres Verhältnis von Beerenhaut zu Pulpe der durchschnittlich kleineren MP-Beeren erklären. In der Beerenhaut sind vermehrt Mineralien (z. B. Kalium) und andere Beereninhaltsstoffe lokalisiert. Diese werden während der Traubenverarbeitung teilweise aus der Beerenhaut in den Most gelöst (Ribéreau-Gayon *et al.* 2000) und erhöhen den zuckerfreien Extrakt. Wegen des höheren Verhältnisses von Beerenhaut zu Pulpe bei MP kann es dort zu einer relativ verstärkten Herauslösung dieser Inhaltsstoffe aus der Beerenhaut während der Traubenverarbeitung kommen. Außerdem könnte zudem ein für MP unter hiesigen Bedingungen vermutetes stärker ausgeprägtes Wurzelsystem (vgl. Kap. 3.1), welches den Boden besser erschließt und dadurch mehr Mineralien in die Beeren einzulagern vermag, verantwortlich für diese analytische Feststellung gewesen sein. Diese Annahmen sind allerdings hypothetischer Natur und bedürfen einer Überprüfung.

Tab. A1: Weinhandelsanalysen der abgefüllten Versuchsweine (MP, MP GA3-02/03/04, MP GA3-02/04, VSP) der Versuchsfläche Geisenheimer Kläuserweg der Jahre 2002 und 2003.

Parameter/ Variante	2002					2003				
	MP	MP GA ₃ - 02/03/04	MP GA ₃ - 02/04	VSP		MP	MP GA ₃ - 02/03/04	MP GA ₃ - 02/04	VSP	
Ethanol (g L ⁻¹)	99.05	92.28	94.87	101.38		97.78	110.53	105.57	109.48	
Restzucker (g L ⁻¹)	4.00	3.95	3.70	4.00		7.00	5.10	6.00	6.70	
Gesamtsäure (g L ⁻¹)	7.81	9.06	8.90	7.70		6.90	7.40	7.40	7.50	
pH-Wert	3.49	3.36	3.34	3.30		3.40	3.40	3.30	3.20	
Zuckerfreier Extrakt (g L ⁻¹)	21.62	21.91	21.35	20.20		21.22	21.82	20.31	19.05	
Freie schweflige Säure (mg L ⁻¹)	50	52	56	46		42	37	48	51	
Gesamte schweflige Säure (mg L ⁻¹)	109	111	115	122		104	130	106	115	
Dichte (20/20)	0.9931	0.9942	0.9935	0.9922		0.9943	0.9919	0.9924	0.9916	

Die rein analytischen Werte eines höheren zuckerfreien Extraktes aller MP-Varianten in beiden Versuchsjahren gegenüber VSP sind aus qualitativer Sicht als positiv zu bewerten. Sie können zu einem ausgewogenen und harmonischen Geschmacksempfinden sowie einer hohen Bewertung des Attributes ‚Körper‘ beitragen. Die Gehalte an freier und gesamter schwefliger Säure und die relative Dichte bewegen sich in einem für weiße Qualitätsweine üblichen Niveau und lassen einerseits auf aus phytosanitärer Sicht gesundes Traubengut und andererseits auf hygienisch einwandfreie önologische Behandlung schließen.

Wegen eines höheren relativen Anteils an Beerenhaut und Rappen bei MP ist es denkbar, dass vermehrt phenolische Verbindungen, die sich sensorisch negativ bemerkbar machen können, in Weine von MP gelangen, sofern keine angepasste Verarbeitung statt findet. Auch eine erhöhte Extraktion aromarelevanter Metabolite aus dem relativ vermehrten Anteil an Beerenhaut bei MP ist anzunehmen. So deuten von Papargyriou (2003) festgestellte teils höhere Gehalte an Phenolen und der gesamten sekundären Pflanzenmetabolite bei Rieslingweinen von MP der Jahrgänge 1998 und 1999 des Anbaugebietes Rheingau auf diese Zusammenhänge hin. Auch von den im Rahmen der vorliegenden Studie festgestellten höheren Catechingehalten in

Beerenpopulationen von mit GA₃ behandelten MP-Reben im trocken-heißen Jahr 2003 ist zu erwarten, dass diese sich teilweise im Wein wieder finden.

Denkbar ist vor dem Hintergrund einer geänderten Trauben- und Beerenstruktur und den damit einhergehenden analytischen Unterschieden der Beereninhaltsstoffe eine angepasste Strategie der Traubenverarbeitung für MP-Trauben. Eine Pressung ungemischter Trauben (Ganztraubenpressung) oder auch das Abbeeren der Trauben eventuell in Verbindung mit einer von Reife und Gesundheitszustand abhängigen Maischestandzeit vor dem Pressen um Phenole aus Beerenhäuten bzw. Rappen in Mosten und Weinen von MP zu reduzieren, jedoch aromarelevante Verbindungen vermehrt zu extrahieren (Papargyriou 2003), sind denkbar. Für die weinbauliche Praxis könnten hierzu gezielt durchgeführte Untersuchungen zu wertvollen Kenntnissen und einer weiteren Verbesserung der Weinqualität bei der Anwendung des Konzeptes von MP und einer qualitativ zielgerichteten Teilentfruchtung mittels GA₃ führen.

Bei den Unterschiedsprüfungen (Dreieckstests) der Versuchsweine beider Jahrgänge (2002 und 2003; Tab. A2) ergaben sich beim ersten Verkostungstermin nach der Flaschenfüllung jeweils keine signifikanten Unterschiede zwischen einzelnen Kombinationen von VSP, MP, MP GA₃-02/03/04 bzw. MP GA₃-02/04. Beim zweiten Termin beider Jahrgänge konnten die Prüfer zwar VSP und MP GA₃-02/04 voneinander unterscheiden, jedoch gab es dabei keinerlei Präferenzen für einen der beiden Weine. Gleiches gilt für das Pärchen aus MP GA₃-02/03/04 und MP GA₃-02/04 beim zweiten Verkostungstermin des Jahres 2003. Von allen Gruppierungen der Unterschiedsprüfungen zeigten die Prüfer lediglich eine eindeutige Präferenz für MP GA₃-02/03/04 bei der Kombination mit MP zum zweiten Verkostungstermin (29. Juli 2005) des Versuchsjahres 2003.

Tab. A2: Resultate der Unterschiedsprüfungen.

Verkostungs- datum	Jahr- gang	Wein A	Wein B	N	Korrekte Antworten	Präferenz Wein A	Präferenz Wein B
nicht untersucht	2002	VSP	MP	-	-	-	-
20.02.04	2002	VSP	MP GA3-02/03/04	16	6	3	3
20.02.04	2002	VSP	MP GA3-02/04	16	8	2	6
16.01.04	2002	MP	MP GA3-02/03/04	11	6	6	0
16.01.04	2002	MP	MP GA3-02/04	11	4	2	2
16.01.04	2002	MP GA3-02/03/04	MP GA3-02/04	11	6	4	2
19.11.04	2002	VSP	MP	11	6	3	3
19.11.04	2002	VSP	MP GA3-02/03/04	11	6	3	3
19.11.04	2002	VSP	MP GA3-02/04	11	9**	4	5
18.11.04	2002	MP	MP GA3-02/03/04	10	4	3	1
18.11.04	2002	MP	MP GA3-02/04	10	3	2	1
18.11.04	2002	MP GA3-02/03/04	MP GA3-02/04	10	1	0	1
07.10.04	2003	VSP	MP	13	6	2	4
07.10.04	2003	VSP	MP GA3-02/03/04	13	7	4	3
07.10.04	2003	VSP	MP GA3-02/04	13	5	4	1
07.10.04	2003	MP	MP GA3-02/03/04	13	6	4	2
07.10.04	2003	MP	MP GA3-02/04	13	6	5	1
07.10.04	2003	MP GA3-02/03/04	MP GA3-02/04	13	6	2	4
29.07.05	2003	VSP	MP	11	4	2	1
29.07.05	2003	VSP	MP GA3-02/03/04	11	2	1	1
29.07.05	2003	VSP	MP GA3-02/04	11	7*	4	3
29.07.05	2003	MP	MP GA3-02/03/04	11	8**	0	8
29.07.05	2003	MP	MP GA3-02/04	11	6	1	5
29.07.05	2003	MP GA3-02/03/04	MP GA3-02/04	11	7*	4	3

*, **, *** = signifikante Unterschiede mit $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$.

Die deskriptive Weinbewertung der Versuchsweine der Jahrgänge 2002 und 2003 wiesen in der Bewertung der Attribute Aromaqualität, Aromaintensität, Bitternis und Körper/ Fülle eine ähnlich bzw. tendenziell bessere Bewertung bei MP im Vergleich zu VSP auf (Abb. A1 A-C). Besonders ausgeprägt war diese Diagnose für die Attribute Aromaqualität, Aromaintensität und Körper/ Fülle nach längerer Flaschenreife des Jahrgangs 2002 sowie für die Attribute Aromaqualität und Bitternis des noch jungen Jahrgangs 2003. Bei der Beliebtheitsprüfung (Rangordnungsprüfung) dieser Versuchsweine (Abb. A2 A-C) führten diese Unterschiede zu einer signifikanten Bevorzugung von MP des noch jungen Jahrgangs 2003 (Abb. A2 B), wohingegen kein eindeutiges Ergebnis des Jahrgangs 2002 bzw. für den Jahrgang 2003 nach längerer Flaschenlagerung zu erkennen war. Weitere abgefragte Attribute der deskriptiven Weinbewertung wiesen eher geringe Unterschiede auf, was mit den analytischen Werten (Tab. A1) der Weine weitgehend konform war.

Somit entsprach die Bewertung der deskriptiven Weinbeurteilung der Rebsorte Weißer Riesling mit einer positiveren Wertung des ‚Weinaromas‘ von MP im Vergleich zu VSP weiteren in Deutschland gemachten Befunden (Schultz *et al.* 2000, Schultz 2002, Fox und Steinbrenner 2003). Allerdings kann dies anhand der im Rahmen dieser Studie angefertigten Analysen der glykosidisch gebundenen Beereninhaltsstoffen im Gegensatz zu Schultz *et al.* (2000) und Werwitzke (2003) nicht mit höheren Werten des Aromapotentials von Beeren in Einklang gebracht werden, da diese sich zwischen MP und VSP nur unwesentlich und nicht signifikant unterschieden.

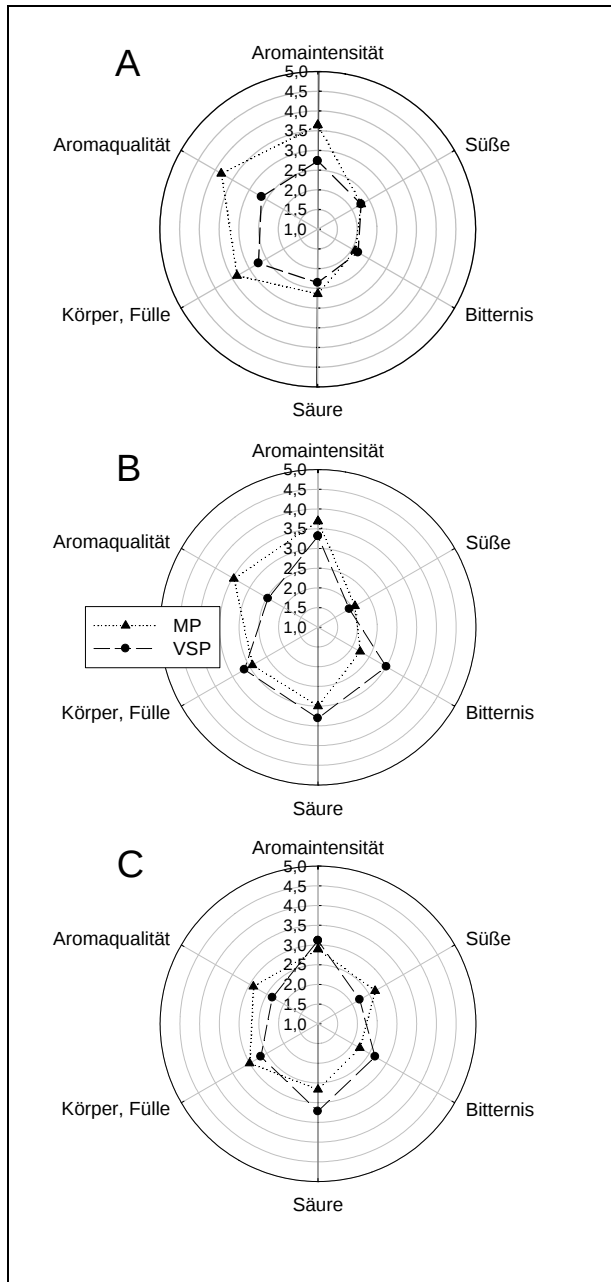


Abb. A1: Deskriptive Weinbewertung der Versuchsvarianten MP und VSP. A: Jahrgang 2002, Verkostungstermin 3. Dezember 2004, $n = 11$, B: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 30. September 2004, $n = 13$, C: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 22. Juli 2005, $n = 9$.

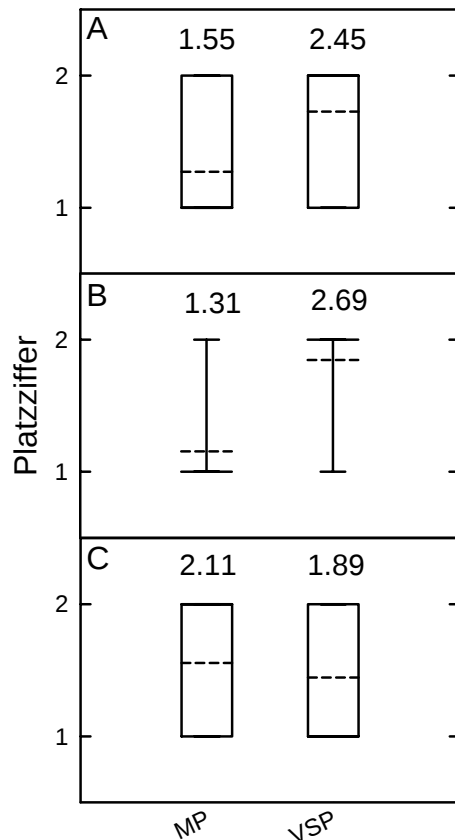


Abb. A2: Rangordnungsprüfung der Versuchsvarianten MP und VSP. A: Jahrgang 2002, Verkostungstermin 3. Dezember 2004, $n = 11$, B: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 30. September 2004, $n = 13$, C: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 22. Juli 2005, $n = 9$. Horizontale gestrichelte Linien in den Säulen: Mittelwert, horizontale durchgezogene Linie: Median (sofern dieser vom Mittelwert abweicht), maximale vertikale Ausdehnung der Säulen: 95% Perzentile, Zahlenwerte entsprechen der Rangziffer (DIN 10963) und deuten bei Differenzen >1 auf signifikante Unterschiede ($p < 0.05$).

Die deskriptive Bewertung der mit GA_3 behandelten MP-Varianten im Vergleich zu der unbehandelten MP-Kontrolle (Abb. A3) führte zu geringen Unterschieden und lässt zudem anhand der Rangordnungsprüfung (Abb. A4) keine Bevorzugung für eine der drei Varianten erkennen. Lediglich höhere Gesamtsäurewerte der Weinanalysen des Jahrgangs 2002 (Tab. A1) sind in der Tendenz an der Bewertung des Attributes Säure (Abb. A3 A) zu erkennen, wobei ein höherer Säurewert aufgrund der deskriptiven Bewertung zum 2. Verkostungstermin des Jahrgangs 2003 (Abb. A C) weder zum ersten Verkostungstermin auffällig (Abb. A3 B) noch analytisch (Tab. A1) nachzuvollziehen war. Insgesamt führte demnach eine Behandlung mit GA_3 nicht zu negativen sensorischen Eigenschaften der hieraus resultierenden Weine, jedoch brachte die teils hohe Ertragsreduzierung auch keine sensorischen Vorteile gegenüber der unbehandelten MP-Kontrolle.

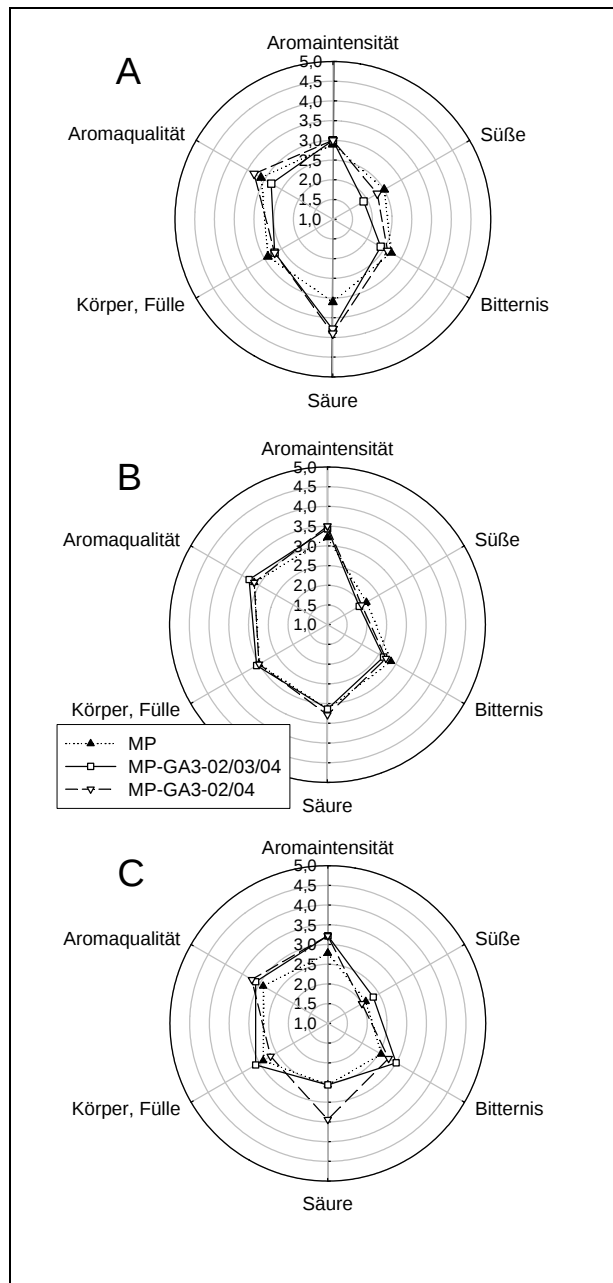


Abb. A3: Deskriptive Weinbewertung der Versuchsvarianten MP, MP GA₃-02/03/04 und MP GA₃-02/04. A: Jahrgang 2002, Verkostungstermin 18. November 2004 mit n = 10, B: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 30. September 2004 mit n = 13, C: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 22. Juli 2005 mit n = 9.

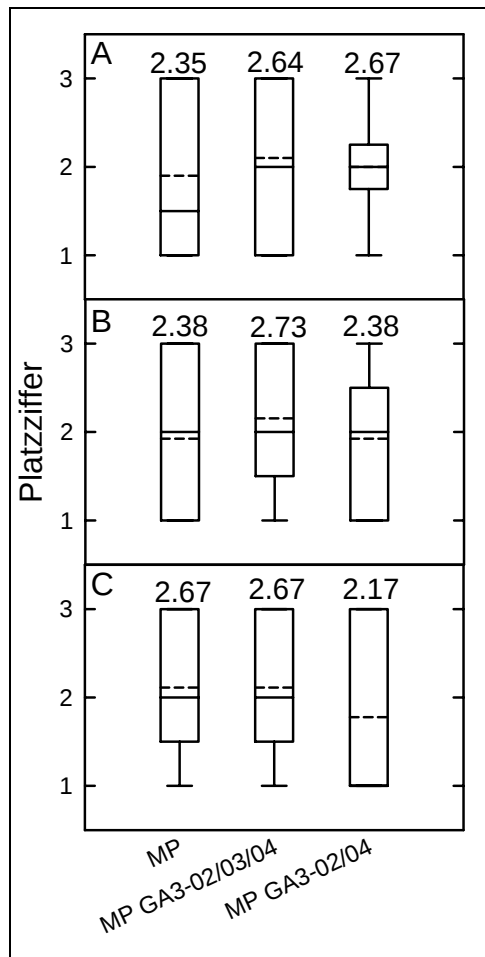


Abb. A4: Rangordnungsprüfung der Versuchsvarianten MP, MP GA₃-02/03/03 und MP GA₃-02/04. A: Jahrgang 2002, Verkostungstermin 18. November 2004, n = 10, B: Jahrgang 2003, Verkostungstermin 30. September 2004, n = 13, C: Verkostungstermin Jahrgang 2003, 22. Juli 2005, n = 9. Legende analog Abb. A2.

Eine aus Kapazitätsgründen lediglich am 19. November 2004 durchgeführte deskriptive Weinverkostung (Abb. A5) sowie Beliebtheitsprüfung (Abb. A6) der Kombination aus MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04 und VSP des Jahrgangs 2002 erbrachte eine äußerst geringe Tendenz mit einer gleichgerichteten Bevorzugung beider mit GA₃ behandelten MP-Weine im Vergleich zu VSP. Diese Diagnose konnte anhand einer geringeren Rangziffer (Abb. A6) von MP GA₃-02/03/04 MP GA₃-02/04 im Vergleich zu VSP gestellt werden. Hierbei kann gemutmaßt werden, dass diese leichte Bevorzugung für MP GA₃-02/03/04 von der höheren Bewertung der Aromaqualität und für MP GA₃-02/04 von einer Kombination aus einer höheren Intensität der Attribute Körper/ Fülle und Süße hervorgerufen wurde (Abb. A5). Allerdings konnte dies analytisch nicht bestätigt werden (Tab. A1). Die für beide mit GA₃ behandelten MP-Varianten analytisch sowie sensorisch festgestellten höheren Säurewerte dagegen wurden erkannt, führten jedoch nicht zu einer negativeren Bewertung dieser Varianten gegenüber VSP.

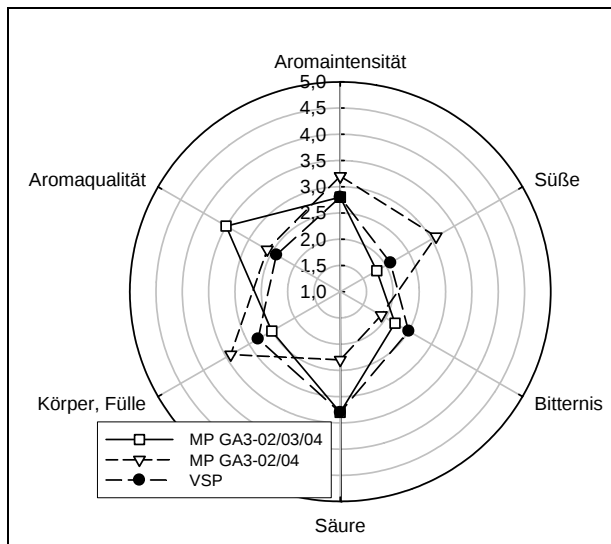


Abb. A5: Deskriptive Weinbewertung der Versuchsvarianten MP GA₃-02/03/04, MP GA₃-02/04 und VSP des Jahrgangs 2002, Verkostungstermin am 19. November 2004, n = 9.

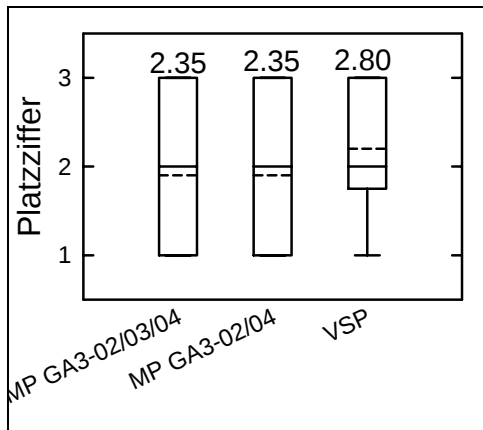


Abb. A6: Rangordnungsprüfung der Versuchsvarianten MP GA₃-02/03/03, MP GA₃-02/04 und VSP des Jahrgangs 2002, Verkostungstermin am 19. Dezember 2004, n = 9. Legende analog Abb. A2.

Aus den vorliegenden sensorischen Ergebnissen lassen sich mehrere für die Versuchsweine (VSP, MP und Weine aus mit GA₃ behandelten MP-Reben) sowie das Prüferpanel relevante Schlüsse ableiten:

- Die Weine aller Varianten sind trotz teils großer qualitativer und analytischer Unterschiede bei der Ernte bzw. im vinifizierten und flaschengefüllten Wein sensorisch von geschulten Prüfern nicht eindeutig zu unterscheiden.
- Bei deskriptiven Weinbewertungen sowie Rangfolgeprüfungen von MP mit VSP wird MP anhand der Aromatik meist bevorzugt. Damit eignet sich MP für die Erzeugung von Qualitätsweinen trotz der teils sehr hohen Mengenerträge und

den partiell mit diesem System verbundenen Nachteilen hinsichtlich gängiger Qualitätsparameter.

- Qualitativ positive Wirkungen einer Ertragsregulierung mittels GA₃ auf Trauben von MP sind in Weinen von geschulten Prüfern nur bedingt nachzuvollziehen.
- Es kommt für Prüfer zu keiner erkennbaren Bildung von Fehltönen in Weinen aus mit GA₃ behandelten minimal geschnittenen Reben.
- Sensorische Unterschiede treten vermehrt, jedoch ohne nachvollziehbare Tendenz oder Präferenz nach längerer (>12 Monate) Flaschenlagerung auf.
- Der personelle Umfang (n = 9 - 16) des geschulten Prüferpanels war zu gering um eventuell vorhandene Unterschiede bei Unterschiedsprüfungen (Dreieckstests) sowie Rangfolgeprüfungen eindeutig zu identifizieren.

6.2 Weinbewertung

Sämtliche Weinbewertungen wurden mit dem geschulten Panel der Forschungsanstalt Geisenheim sowie geübten Studenten der Fachhochschule Wiesbaden-Geisenheim durchgeführt.

Einen Tag vor jeder Weinverkostung wurden je Variante mindestens zwei Flaschen Wein einer jeden Variante homogenisiert und in ihre ursprünglichen Flaschen zurück gefüllt. Bis zur Verkostung wurden die homogenisierten Weine bei 13°C gelagert.

Bei allen Verkostungen wurde das Probierglas ‚Sensus‘ (Schott Zwiesel Kristallglas AG, D-94227 Zwiesel) verwendet. Prüfer schenkten sich die verdeckten und randomisierten Weine selbst ein.

Unterschiedsprüfungen wurden mittels Dreieckstests durchgeführt, die als empfindlichste und psychophysikalisch am besten untersuchte Unterschiedsprüfung gilt (Dürr 1986). Dem Prüfer werden dabei drei Proben gereicht, von denen zwei identisch sind. Er soll die abweichende Probe mit seinen Sinnen erkennen und zusätzlich seine Präferenz für einen der beiden Weine abgeben.

Bei der verdeckten deskriptiven Bewertung der Weine sollten die Prüfer die Weine im Vergleich in ihrer jeweiligen Intensität der Attribute Aromaqualität, Aromaintensität, Süße, Bitternis, Säure sowie Körper/ Fülle auf einer Skala von 1 (sehr wenig intensiv) bis 5 (sehr intensiv) bewerten.

Die parallel zur deskriptiven Weinbewertung durchgeführten Rangordnungsprüfungen dienten in vorliegender Arbeit der ‚wenig komplizierten‘ Beliebtheitsprüfung der vorgestellten Weine. Hierbei werden die Rangsummen aller Prüferurteile einer Probe gebildet. Die Platzziffer als Mittelwert der Prüferurteile dient der Berechnung der Rangziffer nach der Formel:

$$RZ = (PZ - 1) * n / (n - 1) + 1, \text{ bei } n = \text{Anzahl der zu vergleichenden Proben.}$$

Ein signifikanter Unterschied zwischen Versuchsgliedern besteht, wenn die Rangziffer um mehr als 1 zwischen diesen differiert.

Die Kodierung der Flaschen, Fragebögen und deren Auswertung sowie die statistische Verrechnung der Daten der Unterschiedsprüfungen erfolgten mit Fizz[®] for Windows 2.00M (Biosystems, 21560 Couternon, France).

6.3 Literaturverzeichnis des Anhangs

- Dürr, P. 1986. Sensorische Methoden und ihre statistische Auswertung. In: Getränkebeurteilung (Hrsg.: Koch, J.). Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Germany, pp. 45-81.
- Fox, R., Steinbrenner, P. 2003. Minimalschnitterziehung. Erste Ergebnisse aus Württemberg. Rebe und Wein (1): 25-28.
- Papargyriou, E. 2003. Veränderungen von glykosidisch gebundenen Sekundärmetaboliten bei *Vitis vinifera* L. (cvs. Gewürztraminer und Riesling) in Zusammenhang mit Traubenreife, Weinbereitung und Weinlagerung. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, pp. 151.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., Lonvaud, A. 2000. Handbook of Enology. Volume 1: The microbiology of wine and vinifications. John Wiley & Sons, Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, England, pp. 454.
- Schultz, H.R. 2002. Minimalschnittsysteme. Ausschuss für Technik im Weinbau, Bericht 109, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany, pp. 71.
- Schultz, H.R., Kraml, S., Werwitzke, U., Zimmer, T., Schmid, J. 2000. Adaptation and utilization of minimal pruning systems for quality production in cool climates. Am. J. Enol. Vitic. 51: 185-190.
- Wervitzke, U. 2003. Einfluss der Pflanzenernährung, weinbaulicher Maßnahmen und der mikrobiologischen Rahmenbedingungen auf glykosidisch gebundene Inhaltsstoffe in *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, Deutschland, pp. 234.

Danksagung

Mein Dank gilt allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Besonders bedanken möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Fachgebietes Weinbau und des Fachgebietes Kellerwirtschaft der Forschungsanstalt Geisenheim.

Dem Fachgebiet Bodenkunde sei Dank für die Möglichkeit zur Durchführung der vielen Stickstoffanalysen.

Den Teilnehmern des Prüferpanels der Forschungsanstalt sei Dank für deren Zeit und Mühe bei Weinverkostungen.

Angelika Bär, Annette Rheinberger, Ursula Craß und Dieter Ettingshaus sei lieb gedankt für die Hilfe bei Probennahmen, Probenaufbereitung und Analysen.

Vielen Dank auch an meine Kollegen und Freunde Magali Lafontaine und Christian Deppisch für den ganzen Spaß, die Pizza und den Champagner in den Versuchsflächen und natürlich den ganzen Rest.

An Herrn Prof. Dr. H.R. Schultz ein ganz besonderes Dankeschön für die wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit.

Besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. B. Honermeier, Institut Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I der Justus-Liebig-Universität Giessen, für die Begutachtung und Prüfung dieser Arbeit.

Dem Forschungsring des Deutschen Weinbaus (FDW) / Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) sei für die finanzielle Förderung dieser Studie besonders gedankt.

Jochen Meyer sei für ‚seine guten Worte auf dem Dach in der Sonne Spaniens‘, ohne die ich diese Arbeit wahrscheinlich nicht begonnen hätte, gedankt.

Verica Wissel aus Spanien möchte ich danken für ihre ganze Zeit, die unzähligen Telefonate und ganz besonders für ihr Einfühlungsvermögen und Verständnis, das ich zum Glück nur bei sehr wenigen mir während dieser Arbeit nahe stehenden Menschen vermissen musste.

Meinen Eltern danke ich für die langjährige und nachhaltige Unterstützung in allen Lebenslagen.

Ihnen sei diese Arbeit gewidmet!

DANKE!

Erklärung

Ich habe die vorliegende kumulativ angefertigte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit Hilfen angefertigt, die ich in dieser Dissertation angegeben habe.

Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der ‚Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur ‚Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis‘ niedergelegt sind, eingehalten.

Die eingereichten Publikationen wurden anhand der von mir gewonnenen Daten und Erkenntnisse in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. H.R. Schultz, Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Weinbau angefertigt und verfasst.

Keine der hier enthaltenen Publikationen oder andere in dieser Arbeit aufgeführten Daten und Ergebnisse wurden zur Erlangung eines weiteren akademischen Grades an der Justus-Liebig-Universität oder an einer anderen nationalen oder internationalen wissenschaftlichen Institution eingereicht.

Karsten M. Weyand

St. Aldegund, Juli 2006