

Einfluss der Stickstoffdüngung auf Wuchs, Ertrag, Most- und Weinqualität der Sorte 'Riesling' in einem zwanzigjährigen Langzeitversuch II: Von der Traube zum Wein

ALBERT LINSENMEIER und OTMAR LÖHNERTZ

Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Bodenkunde und Pflanzenernährung
D-65366 Geisenheim, von-Lade-Straße 1
E-mail: Linsenmeier@fa-gm.de

In einem Langzeitdüngungsversuch blieb die generative Leistung der seit 20 Jahren ungedüngten Reben erhalten. Es konnten zwar in der Stickstoffmangelvariante Ertragseinbußen gegenüber den mit jährlich 30 bis 150 kg N/ha gedüngten Varianten festgestellt werden, im Rahmen eines qualitätsorientierten Weinbaus war dies aber nicht von Belang. Das Mostgewicht war im langfristigen Trend sogar erhöht. Die meisten Mineralstoffe im Most (P, Mg, Ca, Fe, Zn, Cu) nahmen bei einer Stickstoffdüngung ab, lediglich die Elemente Kalium, Natrium und Mangan waren unbeeinflusst. Die Versorgung der Moste mit Aminosäuren bzw. Stickstoff wurde durch die Düngung gesteigert, was sich auch in der Gärintensität und im Endvergärungsgrad niederschlug. Es fand sich eine nachlassende Einlagerung von Stickstoff in die Trauben durch die jahrzehntelang unterlassene Stickstoffdüngung. In einigen Jahren waren die Weine aus der ungedüngten Variante deutlich restsüßer, darüber hinaus ließen sich aber keine einheitlichen sensorischen Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festmachen.

Schlagwörter: Wein, 'Riesling', Stickstoffdüngung, Ertrag, Mostqualität, Aminosäuren, Mineralstoffe

Influence of nitrogen fertilization on vine performance, yield, must and wine quality of 'Riesling' in a 20 year-trial. II: From grape to wine. In a long-term nitrogen fertilization trial, yield remained stable in the unfertilized variant. Indeed, yield was lower in the nitrogen deficiency variants compared with those fertilized with 30 to 150 kg N/ha. In the course of quality wine production, though, these differences in yield were not important. There was even a tendency towards higher sugar concentrations in grapes due to nitrogen deficiency. Most nutrients in the must (P, Mg, Ca, Fe, Zn, Cu) were decreased by nitrogen fertilization, only K, Na and Mn were not influenced. The supply of must with amino acids and nitrogen, resp., was enhanced. This was a result of fertilization, which affected fermentation intensity and residual sugar concentration. The accumulation of nitrogen in grapes decreased over the years due to long-term lack of fertilization. In some vintages, wines from unfertilized variants had noticeably more residual sugar; furthermore no consistent sensory differences between the variants could be found.

Key words: Nitrogen fertilization, yield, must quality, amino acids, nutrients, 'Riesling'

L'influence de la fertilisation azotée sur la croissance, le rendement, la qualité du moût et du vin du cépage 'Riesling' au cours d'un essai de longue durée sur vingt ans. II: De la grappe au vin. Au cours d'un essai de fertilisation de longue durée, la performance générative des vignes non fertilisées depuis 20 ans s'est conservée. Il est vrai qu'on a constaté un rendement réduit de la variante présentant un manque d'azote par rapport aux variantes fertilisées par 30 à 150 kg N/ha par an, mais ce fait a été sans importance dans le cadre d'une viticulture orientée vers la qualité. À long terme, la densité du moût avait même tendance à augmenter. La plupart des substances minérales présentes dans le moût (P, Mg, Ca, Fe, Zn, Cu) ont diminué lors de la fertilisation azotée, seuls les éléments potassium, sodium et manganèse n'ont pas été influencés. L'alimentation des moûts en acides aminés et/ou en azote a été augmentée par la fertilisation, ce qui s'est répercuté également sur l'intensité de fermentation et sur le degré final de fer-

mentation. Le stockage d'azote dans les grains de raisin a diminué du fait qu'aucune fertilisation azotée n'avait eu lieu pendant des décennies. Au bout de quelques années, les vins de la variante non fertilisée ont présenté nettement plus de sucre résiduel; il a cependant été impossible de constater d'autres différences sensorielles entre les variantes de l'essai.

Mots clés : vin, 'Riesling', fertilisation azotée, rendement, qualité du moût, acides aminés, substances minérales

Wie keine andere Düngung steht die Stickstoffdüngung im Fokus des Interesses. Unter allen Pflanzennährstoffen nimmt der Stickstoff eine besondere Rolle ein, weil er großen Einfluss auf das Wachstum, auf Inhaltsstoffe und auf viele physiologische Vorgänge nimmt (CURRLE et al., 1983; MENGEL, 1991). Der Grund für das besondere Interesse an der Stickstoffdüngung liegt aber vielmehr darin, dass es nicht leicht ist, optimale Düngungsmengen anzugeben. Zum einen ist dies in der Zielverschiebung begründet, die bezüglich der Düngung stattgefunden hat: Waren früher Ertragssicherheit und Ertragshöhe Hauptkriterien, so rückten später Umwelterwägungen und die Extensivierung im Weinbau in den Vordergrund. Heute sind vor allem wertgebende Inhaltsstoffe und die Weinqualität Ziel der Forschung. Ein anderer Grund für die Schwierigkeit, optimale Düngungsangaben für die Rebe zu machen, liegt darin, dass mehrjährige Kulturen mit ihren Stickstoffreserven weniger deutlich und vor allem weniger schnell auf die Stickstoffdüngung reagieren als einjährige Pflanzen. Der Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Weinqualität ist stark mit dem Gehalt an Aminosäuren im Most verknüpft. Ein Stickstoffmangel führt zu niedrigen Aminosäurenkonzentrationen im Most, was das Risiko von Gärstockungen erhöht (LÖHNERTZ und RAUHUT, 1997). Eine zu hohe Stickstoffdüngung hat nicht nur Traubenkrankheiten, wie Stiehlähme und erhöhten Botrytisbefall, zur Folge (BRECHBÜHLER und MEYER, 1988), sondern die resultierenden hohen Konzentrationen an Aminosäuren im Most begünstigen auch die Bildung von Ethylcarbamaten (OUGH, 1991). Außerdem erfolgt bei einer Nicht-Bukettsorte wie 'Riesling' die Aromenbildung im Wein maßgeblich durch Gäraromen. Diese Gäraromen sind wiederum stark durch die Aminosäurenkonzentration im Most beeinflusst (RAPP und VERSINI, 1996; LINSSENMEIER et al., 2006). Die Produktion hoher Weinqualitäten muss deshalb durch eine ausgewogene Stickstoffdüngung unterstützt werden. Der folgende Versuch soll Kenntnisse über den langfristigen Effekt von unterschiedlichen Stickstoffgaben auf Traubenertrag, Most- und Weinqualität erbringen.

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in einer 1977 mit 'Riesling' bepflanzten Anlage im Rheingau, Deutschland, durchgeführt. Der Boden war ein sandiger Lehm mit einem pH-Wert von 7,6 sowie 1,4% Humus. Seit 1985 wurden folgende jährlichen Stickstoffgaben ausgebracht: 0, 30, 60, 90, 150 kg N/ha, wobei jede Variante in vierfacher Wiederholung in einer randomisierten Blockanlage angelegt wurde. Die weitere Düngung sowie der Pflanzenschutz und die Bewirtschaftung der Versuchsanlage erfolgten betriebsüblich. Seit dem Jahrgang 1999 fand als qualitätsfördernde Maßnahme eine Ausdünnung der Trauben vor Reifebeginn statt. Weitere Einzelheiten sind bei LINSSENMEIER und LÖHNERTZ (2006) beschrieben.

Für die Vinifizierung wurden Moste aus sämtlichen Wiederholungen gewonnen. Die Trauben der mittleren Reihen wurden zur Ertragsbestimmung gewogen; zur Klärung wurde der Most 24 Stunden absitzen gelassen. Der Ausbau der Weine erfolgte im 10 l-Glasballon, wobei der Gärverlauf durch Wägung erfasst wurde. Als Hefe wurde Reinzuchthefer „Champagne Epernay Geisenheim“ (CEG) eingesetzt. Nach der Gärung wurde der Wein abgezogen und mit 100 mg/l SO₂ geschwefelt. Es wurde weder eine Schönung noch eine Entsäuerung der Weine durchgeführt. Vor der Füllung der Weine in Schraubverschlussflaschen fanden eine Kontrolle der SO₂-Konzentration und eine EK-Filtration statt. Die Flaschenweine lagerten bis zur Analyse bei 14 °C.

Aminosäurenbestimmung

Die Aminosäuren wurden mittels HPLC nach einer Vorsäulenderivatisierung bestimmt (PRIOR, 1997; BLESER 1999). Die Most- und Weinproben wurden dazu mit Sulfosalicylsäure extrahiert und mit Dansylchlorid derivatisiert. Die Detektion erfolgte mittels Fluoreszenzdetektor.

Mineralstoffe

Zur Probenaufbereitung wurde eine Nassveraschung mit einem Gemisch aus konzentrierter Schwefelsäure

und Wasserstoffperoxid durchgeführt (SCHALLER, 2000). Die Messung von Magnesium, Natrium, Kupfer, Eisen, Zink und Mangan erfolgte mittels Atomabsorptionsspektrometer. Der Gehalt an Gesamtstickstoff sowie Phosphor wurde photometrisch mittels Fließinjektionsanalyse bestimmt, und Kalium sowie Calcium wurden am Flammenphotometer gemessen.

Sensorik

Die sensorische Bewertung wurde im Frühjahr 2006 an Mischproben der vierfachen Wiederholung durchgeführt. Die Bewertung der Weine erfolgte mittels Rangordnungstest, nach dem DLG-5-Punkte-Schema sowie entsprechend dem Attribut „Fruchtig“ (0 bis 5 Punkte).

Statistik

Zur Signifikanzberechnung der Mittelwerte wurde eine ANOVA mit dem Fischer-Test und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% durchgeführt. Innerhalb der Jahrgänge wurde eine einfache ANOVA durchgeführt, mit dem gesamten Datensatz wurde weiters eine zweifache ANOVA durchgeführt. Der Anteil der Faktoren Jahrgang und Düngung an der Streuung wurde mit der Anteilziffer berechnet (Quotient aus der Summe der Abweichungsquadrate des Faktors und der Abweichungsquadrate insgesamt).

Ergebnisse und Diskussion

Botrytisbefall und Ertrag

Eine zu hohe Stickstoffdüngung führt allgemein bei Pflanzen zu einem stärkeren Krankheitsbefall (MENGEL, 1991). Die negative Auswirkung der hohen Stickstoffdüngung auf die Reben ist schon vielfach beschrieben worden. Vor allem der Botrytisbefall der Trauben, aber auch Stiefäule und Stiellähme treten mit zunehmender Stickstoffversorgung häufiger auf (KANNENBERG, 1992; BRECHBÜHLER und MEYER, 1988; DELAS, 1993). Im vorliegenden Versuch war die Befallsstärke von Botrytis ebenfalls mit zunehmender Stickstoffdüngung erhöht, wobei der in Tabelle 1 angegebene Befall sich vor allem 2006 nochmals wesentlich verstärkte. In Extremjahren trat in der Folge bei den hoch mit Stickstoff gedüngten Varianten auch Essigfäule früher auf. Dies führte zu einer vorgezogenen Lese, die im vorliegenden Fall für alle Varianten zum gleichen Zeitpunkt erfolgte, obwohl die Lese bei den ungedüngten und wenig gedüngten Varianten später hätte erfolgen können.

Tab. 1: Befallsstärke (%) an Botrytis \pm Standardfehler (n = 4) in den Jahrgängen 1999 und 2006. Nicht signifikante Unterschiede ($\alpha = 5\%$) zwischen den Düngestufen sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet.

Düngestufen	6. 10. 1999	29. 9. 2006
0 N kg/ha	13 \pm 3 a	0,2 \pm 0,1 a
30 N kg/ha	29 \pm 4 b	4,2 \pm 0,4 b
60 N kg/ha	28 \pm 3 b	4,3 \pm 0,6 b
90 N kg/ha	29 \pm 4 b	7,8 \pm 0,4 c
150 N kg/ha	40 \pm 7 c	7,5 \pm 0,7 c

Der Traubenertrag variierte stark in Abhängigkeit vom Jahrgang. Über 80% der Varianz in der Ertragshöhe lag der Jahrgangsunterschied zu Grunde. Demgegenüber trat der Einfluss der Düngung sehr zurück. Beginnend mit dem Jahrgang 1999 fand als qualitätsfördernde Maßnahme eine Ausdünnung der Trauben zwischen Erbsengröße und Reifebeginn statt. In den Jahren davor lag der Traubenertrag im Durchschnitt in der Nullvariante signifikant um 20 bis 30% unter dem der gedüngten Parzellen (Abb. 1). Schon zu Anfang lagen die Erträge in der ungedüngten Variante 17% unter den übrigen Varianten. Innerhalb eines Jahrgangs war der Minderertrag in der ungedüngten Variante selten statistisch gesichert. Auch fanden sich immer wieder Ausreißerjahre, in denen die Erträge in der Nullvariante zum Teil die der gedüngten Varianten übertrafen (1987, 1991, 1995) oder umgekehrt besonders tief lagen (1989, 1990, 1996). Ein Absinken des Ertragsniveaus unter den anfangs gefundenen Minderertrag von 17% konnte damit auch nach 15 Jahren ohne Stickstoffdüngung nicht nachgewiesen werden.

In der Literatur wird der Einfluss der Stickstoffdüngung auf das Ertragsverhalten unterschiedlich beschrieben. GÄRTEL (1966), EWART und KLIEWER (1977), KANNENBERG (1992, 1993), MAIGRE (1998) und CONRADIE (2001a) berichten von eindeutigen Ertragssteigerungen. SEITER (2000) fand bei einem Stickstoffsteigerungsversuch nur auf humusarmem Standort höhere Erträge (ab dem zweiten Jahr sogar um das Dreifache), bei humusreichem Boden wurden keine Unterschiede festgestellt. BUCHER (1969) und MÜLLER (1986b) fanden keinen Einfluss der Stickstoffdüngung. CONRADIE und SAAYMAN (1989a) konnten nur eine geringe Ertragssteigerung selbst bei langjähriger Stickstoffdüngung feststellen. Im langjährigen Mittel lag der Ertrag in den hoch gedüngten Varianten unter dem der moderat gedüngten Varianten. Diese absinkende Ertragskurve bei Überschreiten der optimalen Düngemengen fanden ebenso AHMEDULLA und ROBERTS (1991) sowie DELAS et al.

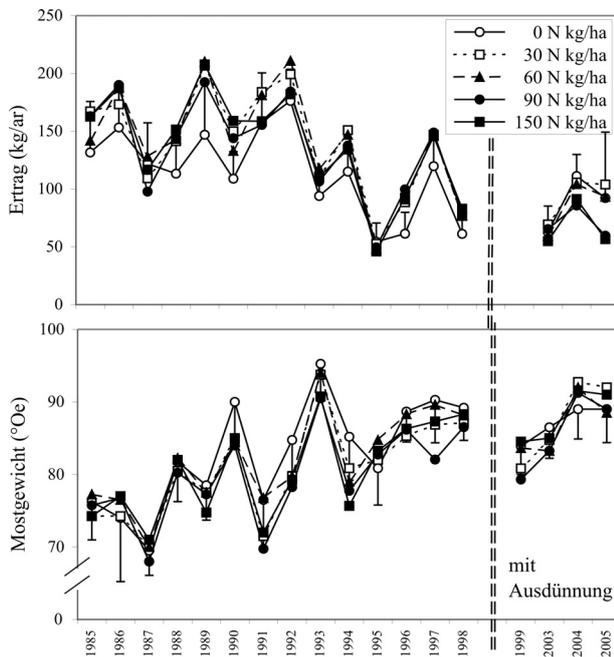


Abb. 1: Ertrag und Mostgewicht im Laufe der Versuchspériode 1985-2005 (Daten von 2000-2002 fehlen). Die Fehlerbalken stellen die GD 5% dar.

(1991). Im Allgemeinen wird dafür der Beschattungseffekt durch den stärkeren Wuchs bei hoher Stickstoffdüngung verantwortlich gemacht (SMART, 1991). Im vorliegenden Fall spielt aber auch der Ertragsverlust infolge des stärkeren Botrytisbefalls der Trauben eine Rolle. In den letzten drei Versuchsjahren lag der Ertrag in der ungedüngten Variante auf Grund der Ausdünnung über den Erträgen aus den gedüngten Varianten. Es kann damit davon ausgegangen werden, dass die gedüngten Varianten auf Grund ihres kräftigeren Wuchses und stärkeren Behangs an Trauben stärker ausgedünnt wurden als die Reben der Stickstoffmangelvariante.

Mostgewicht und Säure

Das Mostgewicht ist in der Praxis einer der wichtigsten Parameter zur Beurteilung der Mostqualität und für die weinrechtliche Einteilung der Weine nach den Qualitäts- bzw. Prädikatsstufen grundlegendes Kriterium. Es wird immer wieder betont, dass das Mostgewicht nicht ausreicht, um die Güte des späteren Weines zu beurteilen und dass weitere Reifeparameter nötig sind; neben dem Säuregehalt, der ebenfalls Rückschlüsse auf den optimalen Lesezeitpunkt erlaubt, haben aber keine weiteren Parameter in die Praxis Eingang gefunden (TROOST, 1980; WÜRDIG und WOLLER,

1989). Nachdem in den ersten vier Versuchsjahren das Mostgewicht nicht von der Düngung beeinflusst wurde, lag das Mostgewicht in der Nullvariante in den Folgejahren durchschnittlich um $3\text{ }^{\circ}\text{Oe}$ über dem der gedüngten Varianten (Abb. 1). Die Moste der 60 kg N/ha -Variante wiesen ebenfalls tendenziell höhere Mostgewichte auf. Seit dem Ausdünnen der Trauben reagierte das Mostgewicht wieder uneinheitlich auf die Düngung. Ein niedrigeres Mostgewicht mit zunehmender Stickstoffdüngung, wie es im vorliegenden Versuch beobachtet wurde, fanden ebenfalls KLEWER et al. (1991), DELAS et al. (1991) und HILBERT et al. (2003). Im Gegensatz dazu fanden MÜLLER (1986a), KANNENBERG (1993) und SEITER (2000) keine Beeinflussung sowie BUCHER (1969), FOX (1998) und MAIGRE (1998) höhere Mostgewichte infolge einer Stickstoffdüngung. Die Gesamtsäure im Most nahm mit zunehmender Düngung ab. Im Durchschnitt wiesen die Moste der Nulldüngung um $0,6\text{ g/l}$ höhere Säuregehalte als der Mittelwert der anderen Varianten auf. Dies wurde auch bei DELAS et al. (1991), CHRISTENSEN et al. (1994) und SEITER (2000) gefunden; demgegenüber berichten BUCHER (1969), BELL (1991), KLEWER et al. (1991), CONRADIE (2001b) und HILBERT et al. (2003) von ansteigenden oder gleich bleibenden Säurekonzentrationen im Most bei Stickstoffdüngung. Diese Diskrepanz zwischen den verschiedenen Untersuchungen hat mehrere Ursachen. Die Stickstoffdüngung übt positive wie negative indirekte Einflüsse auf die Reifung bzw. das Mostgewicht der Trauben aus. Höhere Stickstoffversorgung erhöht die Photosyntheserate der Blätter sowie die Blattgröße (und den Altholzanteil); beides führt zu einer höheren Zuckereinlagerung in die Trauben. Auf der anderen Seite führt die Beschattung der Trauben durch die größeren Blätter zu einer geringeren Zuckereinlagerung, und die ungedüngten Reben weisen eine schnellere Blattalterung auf - insofern führt der Stickstoffmangel zu einer beschleunigten Reife. Zu guter Letzt kann die Stickstoffdüngung auch über das von SARTORIUS formulierte Menge-Güte-Gesetz das Mostgewicht beeinflussen. Jedoch wird das Mostgewicht nicht vom Ertrag an sich, sondern vielmehr vom Blatt:Frucht-Verhältnis beeinflusst (KIEFER et al., 1976). Entscheidend ist folglich die Veränderung von Blattfläche und Ertrag im Verhältnis zueinander durch die Stickstoffdüngung. Beide Parameter werden in der Regel durch eine Stickstoffdüngung gefördert, je nachdem welcher Parameter stärker beeinflusst wird, wirkt die Stickstoffdüngung eher fördernd oder hemmend auf die Mostgewichte.

Tab. 2: Mineralstoffe im Most (Mittel 1986-2005) \pm Standardfehler (n = 80), sowie Varianzanteil (VA) in % der Faktoren Jahrgang und Düngung an der Gesamtstreuung (*: $\alpha = 5\%$, **: $\alpha = 1\%$, ***: $\alpha = 0,1\%$). Nicht signifikante Unterschiede ($\alpha = 5\%$) zwischen den Dünge­stufen sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet.

Dünge­stufe	N (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)
0 N kg/ha	283 \pm 18 a	113 \pm 4 d	1005 \pm 25 b	85 \pm 2 c	111 \pm 4 d
30 N kg/ha	356 \pm 22 b	86 \pm 3 c	1027 \pm 28 b	79 \pm 2 b	100 \pm 3 bc
60 N kg/ha	349 \pm 21 b	86 \pm 3 c	1013 \pm 26 b	80 \pm 2 b	103 \pm 3 c
90 N kg/ha	412 \pm 21 d	72 \pm 3 b	1026 \pm 31 b	73 \pm 2 a	98 \pm 4 bc
150 N kg/ha	427 \pm 21 d	69 \pm 2 a	1038 \pm 28 b	74 \pm 2 a	97 \pm 4 b
VA					
Jahrgang (J)	77,3***	39,0***	77,0***	70,1***	66,4***
Düngung (D)	9,9***	35,3***	0,4	5,7***	3,2***
J x D	3,9**	11,0***	3,9	3,9	3,5

Mineralstoffe im Most

Die Mineralstoffe bestimmen den Aschegehalt der Moste. Sie sind damit positiv mit dem Restextrakt im Wein korreliert, der eine analytische Kennzahl für füllige, „extraktreiche“ Weine darstellt (WÜRDIG und WOLLER, 1989). Nahezu alle gemessenen Mineralstoffe im Most sind sowohl vom Jahrgang als auch von der Stickstoffdüngung hoch signifikant beeinflusst (Tab. 2). Der Düngungseinfluss war schon direkt vom Versuchsbeginn an zu erkennen und blieb von der Ausdünnung unbeeinflusst. Während die Stickstoffkonzentrationen im Most mit der Düngung zunahm, waren die Konzentrationen an Phosphor, Magnesium und Calcium niedriger. Für Magnesium überrascht diese Auswirkung, da die Aufnahme ins Blatt sich entgegengesetzt verhielt. Auch die Mikronährstoffe Eisen, Zink und Kupfer nahmen infolge der Stickstoffdüngung ab. Unbeeinflusst waren dagegen Kalium, Natrium und Mangan.

In der Literatur wird der Effekt der Stickstoffdüngung auf den Aschegehalt von Wein unterschiedlich beschrieben. KANNENBERG (1993) und SEITER (2000) fanden höhere Aschegehalte, MÜLLER (1986b) konnte keinen Einfluss der Stickstoffdüngung feststellen. Die Beobachtung, dass die Phosphoraufnahme in Most bei Stickstoffdüngung zurückgeht, wurde schon mehrfach beschrieben (BUCHER, 1969; CONRADIE und SAAYMAN, 1989b; BELL, 1991). Der kausale Zusammenhang wird aber unterschiedlich erklärt. BELL (1991) spricht von einer unspezifischen Wechselwirkung zwischen Stickstoff und Phosphor, die auf einem Verdünnungseffekt durch die von der Stickstoffdüngung induzierte Wachstumssteigerung beruht. Dagegen spricht neben der schwachen Differenzierung der Ertragsleistung, dass alle Mineralstoffe gleichermaßen betroffen sein müssten. Nach CONRADIE und SAAYMAN (1989b) führt die pH-Erhö­hung bei der Nitraternahrung zu einer schlechteren

Verfügbarkeit von Phosphor. Auf die zuletzt genannten Erklärungsansätze lassen sich auch die schon im Blutsaft gefundene Erhöhung der Phosphorkonzentration bei den ungedüngten Varianten sowie der besonders große Düngungseinfluss auf die Phosphorkonzentration in Blatt, Holz und Most zurückführen (LINSENMEIER und LÖHNERTZ, 2006). Bei einem weiteren langjährigen Stickstoffdüngungsversuch konnte CONRADIE (2001b) den Einfluss der Düngung auf die Phosphorkonzentration in Blatt und Most nicht absichern, der Trend entsprach aber den oben beschriebenen Verhältnissen. Demgegenüber fanden HILBERT et al. (2003) bei einem zweijährigen Versuch an jungen Topfreben im Most der mit Stickstoff gedüngten Varianten höhere Phosphorkonzentrationen. Der bei dem vorliegenden Versuch festgestellte Düngungseffekt auf die Phosphoraufnahme war aber nicht erst durch die langjährig unterschiedliche Düngung aufgetreten, sondern konnte schon von Anfang an beobachtet werden (Abb. 2). Dies gilt ebenso für die Elemente Calcium und Magnesium in Most; schon im zweiten Versuchsjahr - im ersten Jahr wurde noch keine Mostanalyse durchgeführt - wies die ungedüngte Variante niedrigere Konzentrationen dieser Nährstoffe im Most auf (nicht dargestellt). Eine signifikante Beeinflussung von Calcium und Magnesium wurde von HILBERT et al. (2003) bzw. CONRADIE (2001b) gefunden. In der Regel konnte aber kein Düngungseffekt nachgewiesen werden (BUCHER, 1969; CONRADIE und SAAYMAN, 1989b; MAIGRE, 2002). Auch hier gilt wieder, dass diese Autoren oft einen Trend feststellten, der aber nicht statistisch gesichert war.

Aminosäuren und Gesamtstickstoff im Most

Die Aminosäurenkonzentration im Most stellt einen guten Indikator für die Stickstoffversorgung der Rebe dar (KLIEWER, 1991; LÖHNERTZ et al., 1998). Kühle und feuchtere Witterung begünstigen eine Aminosäu-

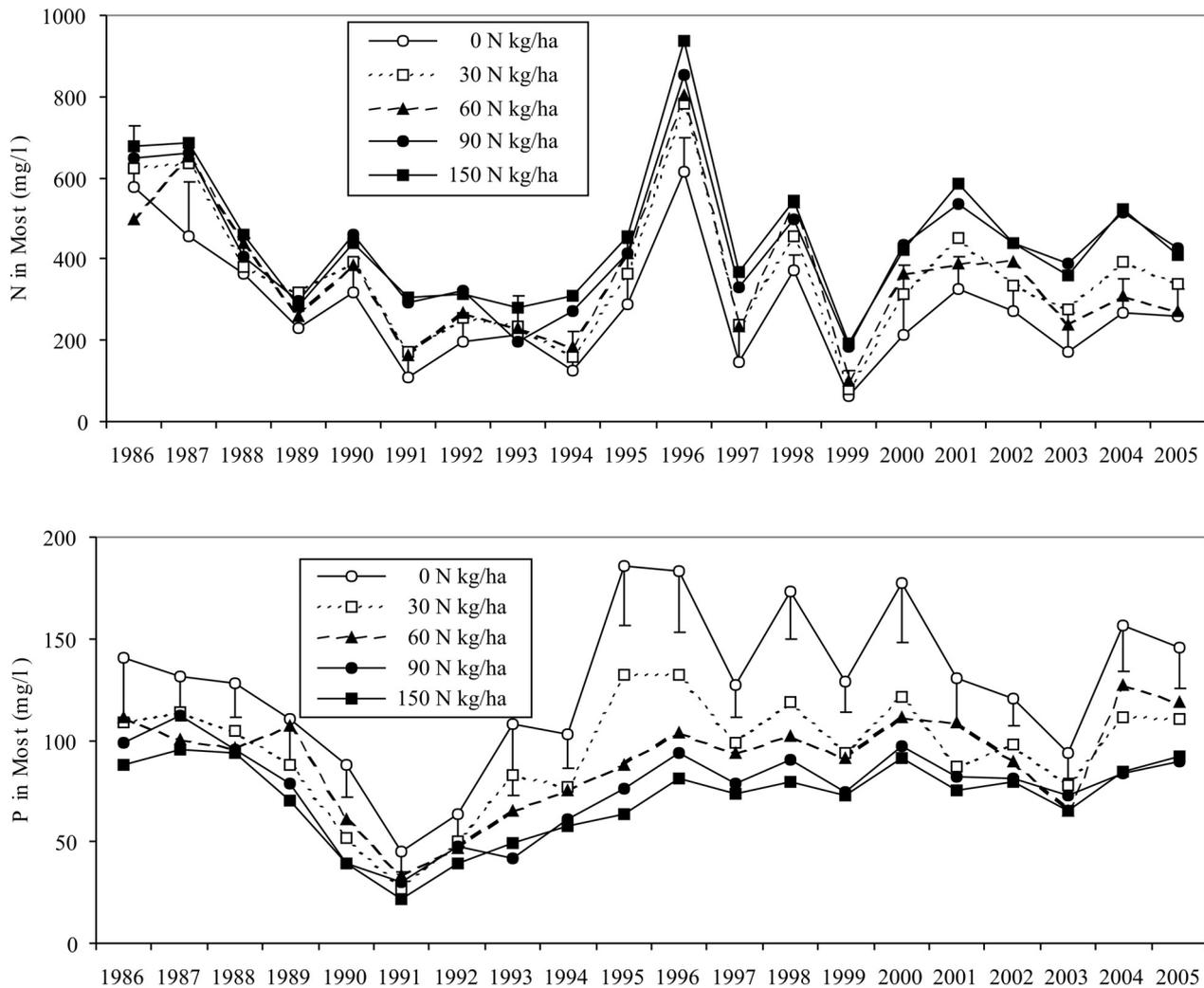


Abb. 2: Konzentration an N und P im Most (mg/l). Die Fehlerbalken stellen die GD 5% dar.

reinlagerung in den Most (SCHRADER et al., 1976). Die Aminosäuren selbst sind in den in Wein vorkommenden Konzentrationen selten aromawirksam, sie sind aber Ausgangsstoff für die Aromabildung und beeinflussen über die Gärung die Bukettausbildung (RAPP und VERSINI, 1996; LINSSENMEIER et al., 2006). Der Düngungseinfluss auf die Gesamtaminosäurenkonzentration im Most war gegenüber dem Jahrgangseinfluss um eine Größenordnung niedriger. Dies trifft auch auf die einzelnen Aminosäuren zu (Tab. 3). Die einzelnen Aminosäuren lassen sich nach ihrer Reaktion auf die Stickstoffdüngung in zwei Gruppen aufteilen: Starker Düngungseinfluss und kein bzw. indifferentere Düngungseinfluss. Bei den Aminosäuren aus der ersten Gruppe nahmen in der Regel mit zunehmender Stick-

stoffdüngung die Konzentrationen sukzessiv zu, am deutlichsten war dies bei Arginin (Arg) und Alanin (Ala); innerhalb eines Jahrgangs erklärte hier die Düngung 40 bis 60% der Streuung dieser Aminosäuren. Der Anstieg der Aminosäuren in Most bzw. Trauben mit der Stickstoffdüngung wurde schon vielfach beobachtet (KLEWER und COOK, 1971; DELAS, 1993; SPAYD et al., 1994; SEITER et al., 2002). Bei den Aminosäuren, welche durch die Düngung nicht beeinflusst wurden, nahm Prolin (Pro) eine Sonderstellung ein: Bis 1998 reagierte Prolin nicht auf die unterschiedlichen Stickstoffgaben, ab 1999 fanden sich höhere Prolinkonzentrationen mit zunehmender Düngung (Tab. 3, Abb. 3). Dies kann mit dem durch die Ausdünnung veränderten Blatt:Frucht-Verhältnis ab dem Jahrgang 1999 er-

Tab. 3: Anteil und Konzentrationen der einzelnen Aminosäuren im Most, sowie die zweifaktorielle varianzanalytische Bewertung der Einflussfaktoren auf die Gesamtvariabilität der Aminosäuren-konzentrationen (1992-2005). Das Signifikanzniveau der Varianzanteile ist mit Sternen gekennzeichnet (*: $\alpha = 5\%$, **: $\alpha = 1\%$, ***: $\alpha = 0,1\%$).

	% - Anteil an Gesamt-Aminosäuren	Konzentration (mg N/l)		Varianzanteil (%)		
		Mittel	Min - Max	Jahrgang (J)	Düngung (D)	J x D
Arg	36,7	80,1	2,0 - 320,2	76,1***	11,8***	2,9
Gln	21,4	46,7	2,7 - 222,8	84,9***	3,9***	3,7**
Pro	14,4	31,4	4,9 - 68,1	78,6***	1,0*	5,9*
(1992-1998)				82,0***	0,2	1,9
(1999-2005)				73,7***	10,8***	3,4
Leu/Phe	5,8	12,7	0,5 - 69,0	89,0***	0,4	1,9
Ala	4,1	8,9	1,7 - 27,6	68,8***	13,3***	4,5
c-ABA	3,7	8,2	1,4 - 23,2	70,4***	5,6***	6,1
Thr	2,8	6,1	1,7 - 17,3	61,0***	8,7***	8,7*
Ile	2,2	4,8	0,0 - 18,5	84,1***	0,3	2,7
Val	2,0	4,5	0,3 - 22,6	95,2***	0,0	0,8
Glu	2,0	4,3	0,0 - 15,3	60,5***	0,9	4,9
Ser	1,9	4,1	0,0 - 13,1	73,3***	1,5*	3,6
Asp	0,9	2,1	0,0 - 13,1	47,0***	1,7	8,7
Gly	0,9	1,9	0,0 - 18,4	95,3***	0,2*	1,3
Lys	0,3	0,7	0,0 - 5,7	40,6***	4,0	5,0
Tyr	0,3	0,6	0,0 - 2,8	80,4***	0,5	4,1
Orn	0,2	0,4	0,0 - 2,6	58,8	4,0	12,0

klärt werden. Prolin nimmt in Trauben mit zunehmendem Blatt:Frucht-Verhältnis stärker zu als die übrigen Aminosäuren (KLEWER und OUGH, 1970). Da die Ausdünnung zu niedrigeren Erträgen in den gedüngten Varianten gegenüber der Stickstoffmangelvariante führte, wirkten sich die kleineren Blattflächen in der ungedüngten Variante ab 1999 negativ auf das Blatt:Frucht-Verhältnis aus. Zusätzlich kommt aber auch ein direkter Düngungseffekt, der erst auf Grund der langjährigen Differenzierung der Stickstoffdüngung erfolgt ist, in Frage. DELAS (1993), SPAYD et al. (1994) und HILBERT et al. (2003) fanden ebenfalls einen Anstieg der Prolinkonzentrationen in Trauben bei zunehmender Stickstoffdüngung. SEITER (2000) und CONRADIE (2001b) konnten dagegen keinen einheitlichen Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Prolinkonzentration im Most finden. Da Prolin mit dem Blatt:Frucht-Verhältnis positiv korreliert, wird es auch als Reifeparameter diskutiert (KLEWER und OUGH, 1970; SCHWAB et al., 2004). Der nach SCHWAB et al. (2004) gute Zusammenhang zwischen Mostgewicht und Prolinkonzentration konnte bei diesem Versuch bestätigt werden. Über alle Jahre hinweg waren Mostgewicht und Prolin mit $r^2 = 0,34$ positiv korreliert (nicht dargestellt). Die Zusammenhänge innerhalb der Jahre waren aber stark unterschiedlich. Im Jahr 1997 fand sich z.B. eine schwache negative Korrelation ($r^2 = 0,12$); 1999 gab es keinen Zusammenhang. Damit dem Prolin über das Mostgewicht

hinaus eine Bedeutung als Qualitätskriterium zukommt, dürfen die beiden Parameter natürlich nicht zu stark miteinander korrelieren. Erkennt man Prolin als Reifeindikator an, so waren demnach die Jahrgänge 1996, 1998 und 2005 besonders reif; unterdurchschnittliche Jahrgänge waren 1994 und 1995. Es stellt sich hier wie so oft die Frage, was eine optimale physiologische Traubenreife ausmacht. Da Weinqualität letzten Endes eine sensorische Einschätzung darstellt, muss die Traubenreife mittels Verkostungen beurteilt werden. SCHWAB et al. (2004) konnten zwar bei Versuchen zur Ertragsregulierung die Eignung von Prolin als Reifeparameter bestätigen, nicht jedoch bei Düngungsversuchen. Wie schon beschrieben, beeinflusste im vorliegenden Versuch die Stickstoffdüngung nicht die Prolinkonzentration vor dem Jahr 1999, ab dem Jahrgang 1999 - seit der Ausdünnung - stieg die Prolinkonzentration aber mit der Stickstoffdüngung an. Es fand sich aber weder eine gleich bleibende Weinqualität bei Verkostungen der Jahrgänge vor 1999 (PRIOR, 1997; BLESER, 1999; LINSSENMEIER et al., 2006), noch folgten die sensorischen Ergebnisse der aktuellen Jahrgänge den Prolinkonzentrationen. Die Unterschiede in der sensorischen Qualität waren insgesamt enger an das Ertragsniveau geknüpft. Prolin und Mostgewicht korrelierten mit einem Bestimmtheitsmaß von ca. 0,1 mit Geruch bzw. Geschmack im Wein, während die entsprechenden Bestimmtheitsmaße beim Ertrag 0,2 bis 0,3 betragen. Ein

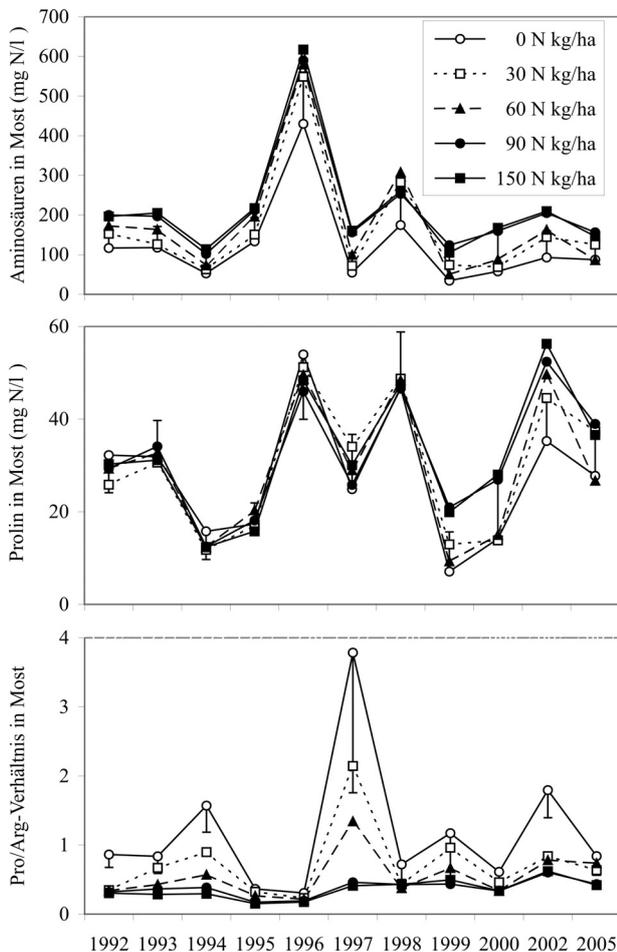


Abb. 3: Aminosäuren im Most (Gesamt-Aminosäuren, Prolin, Prolin/Arginin-Verhältnis). Die Fehlerbalken stellen die GD 5% dar.

Vergleich der Prolinkonzentrationen und der sensorischen Ergebnisse in den Düngungsversuchen von SEITZER (2000) und CONRADIE (2001b) lässt ebenfalls keinen Zusammenhang dieser beiden Parameter erkennen. Prolin eignet sich folglich nicht als Qualitätsparameter bei unterschiedlicher Nährstoffversorgung der Reben. Es bleibt damit zu prüfen, unter welchen Umständen Prolin als zusätzlicher Reifeparameter aussagekräftig sein kann.

Prolin gilt darüber hinaus auch als Stressparameter; vor allem bei anderen Pflanzen wurde beobachtet, dass es bei Stress (Wasser, Nährstoff) angereichert wird (LARCHER, 1994). Als Absolutwert muss die These von Prolin als Stressindikator aber anhand vorliegender Ergebnisse verworfen werden; weder die Witterung, die den Jahrgangseffekt stark mitprägt, noch die Stickstoffdüngung lassen dies erkennen. Der prozentuale Anteil von

Prolin an den Gesamtaminosäuren (nicht dargestellt) und vor allem das Prolin:Arginin-Verhältnis (Abb. 3) stiegen dagegen im Allgemeinen mit zunehmendem Stress an. Sowohl in den Stressjahren (1994, 1997, 1999, 2002) als auch bei Stickstoffmangel ist das Prolin:Arginin-Verhältnis erhöht.

Ebenso wie die Aminosäuren ist auch die Konzentration an Gesamtstickstoff im Most ein Indikator für die Stickstoffversorgung der Rebe und Gütekriterium für den Most. Die Stickstoffkonzentration im Most steigt wie schon die Gesamtaminosäurenkonzentration kontinuierlich mit zunehmender Stickstoffdüngung an (Tab. 2, Abb. 2). Dies wird durch eine Vielzahl von Untersuchungen bestätigt (CONRADIE und SAAYMAN, 1989b; DELAS, 1993; SPAYD et al., 1994; CONRADIE, 2001b; MAIGRE, 2002; HILBERT et al., 2003). Schon in den ersten Jahren nach Versuchsbeginn wurden im Most aus der ungedüngten Variante die niedrigsten Stickstoffkonzentrationen bestimmt. Im Laufe der zwanzigjährigen Versuchsperiode sank die Stickstoffkonzentration im Most der ungedüngten Variante im Vergleich zu der 60 kg N/ha-Variante immer stärker ab, die Stickstoffkonzentration im Most der 150 kg N/ha-Variante stieg dagegen verglichen mit der 60 kg N/ha-Variante an (Abb. 4). Offensichtlich sank der Stickstoffstatus der Reben auf Grund der unterlassenen Düngung langsam ab. Dieser langfristige Trend konnte weder bei der generativen und vegetativen Leistung noch bei den Boden- und Blattanalysen gefunden werden (LINSENMEIER und LÖHNERTZ, 2006). Als Ursache der zunehmenden Differenzierung in der Stickstoffkonzentration des Mostes kann eine schleichende Entleerung der Reservestoffe im Holzkörper der Rebe vermutet werden.

Im vorliegenden Versuch fand sich eine starke Korrelation zwischen den Konzentrationen an Stickstoff und Aminosäurenstickstoff im Most. Auf alle Jahre bezogen betrug das Bestimmtheitsmaß 0,9. Hier spiegelt sich aber der starke Jahrgangseffekt auf die Stickstoff- und Aminosäureeinlagerung in die Trauben wider. Innerhalb der Jahre fanden sich ähnlich hohe Werte nur 1994 (0,95) und 1997 (0,82). Die schwächsten Zusammenhänge fanden sich in den Jahren 1999 (0,55) und 1998 (0,35). Vor allem variierte aber der Regressionskoeffizient zwischen 0,65 (1998) und 2,5 (1994). Nach den vorliegenden Ergebnissen lassen sich die Versuchsvarianten mit beiden Parametern gleich gut unterscheiden, darüber hinausgehende Aussagen sind auf Grund unterschiedlich starker Korrelationen und Regressionen nicht möglich.

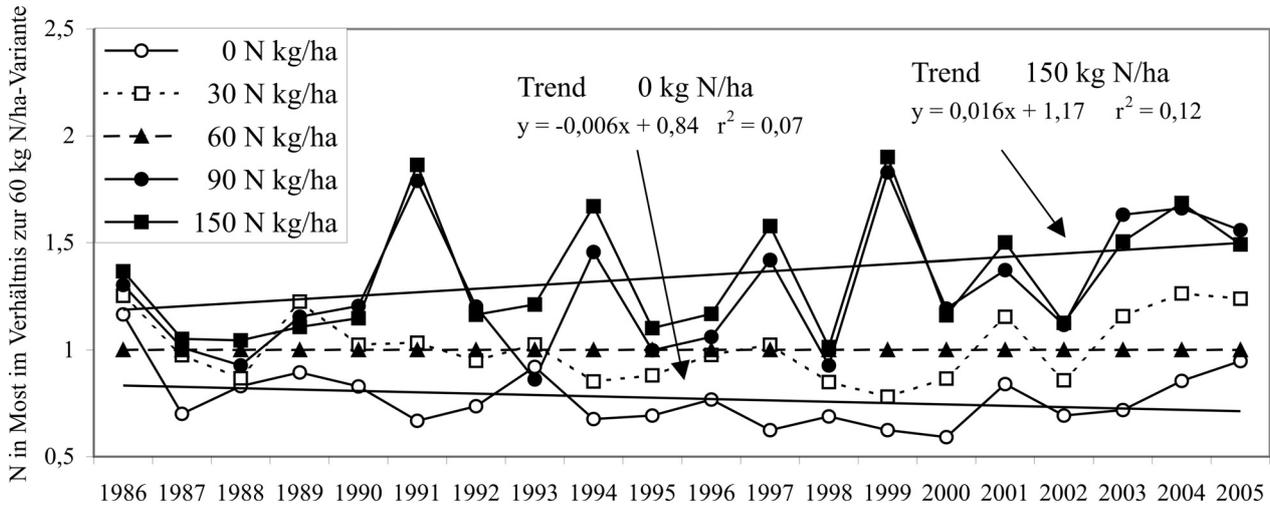


Abb. 4: N-Konzentration im Most relativ zur 60 kg N/ha Variante (= 1), sowie Trend nach Regression in den 0 kg N/ha- und 150 kg N/ha-Varianten.

Gärung

Veränderung der Mineralstoff- und Aminosäurenkonzentration. Die Hefen benutzen die Aminosäuren als Stickstoffquelle für ihre Ernährung vor allem in der Vermehrungsphase zu Beginn der Gärung. Dementsprechend nehmen die Aminosäuren während der Gärung stark ab, was für die Jahrgänge 1994 bis 1999 erfasst wurde (Abb. 5). Der Düngungseinfluss innerhalb der Jahre differiert je nach Aminosäurenniveau im Most. In den schlecht versorgten Jahren (1994, 1997, 1999) korrelierte die Stickstoffaufnahme der Hefen positiv mit der Stickstoffdüngung, also mit dem Stickstoffangebot im Most. Dies lässt folgern, dass das Stickstoffangebot in diesen Jahren den minimierenden Faktor darstellte. In den gut versorgten Jahren fand sich kein Düngungseinfluss (1995, 1998) oder sogar deutlich zurückgehende Stickstoffabnahme bei zunehmender Düngung. Obwohl der an die Aminosäure Arginin gebundene Stickstoff (Arg-N) im Most einen höheren Anteil am Gesamtaminosäurenstickstoff aufwies als der Glutaminstickstoff (Gln-N), nahm Glutamin während der Gärung stärker ab. In den gut versorgten Jahren wurde deutlich mehr als doppelt soviel Gln-N verbraucht als Arg-N, in den schlecht versorgten Jahren dagegen ähnlich viel Gln-N wie Arg-N. Auch die relativen Abnahmeraten waren bei Gln-N mit üblicherweise über 95% wesentlich stärker als bei Arg-N mit 10 bis 98%. Es ist damit sehr deutlich, dass Gln-N von den Hefen bevorzugt aufgenommen wird. Es fand sich eine Anzahl von Aminosäuren, deren Gehalte lediglich

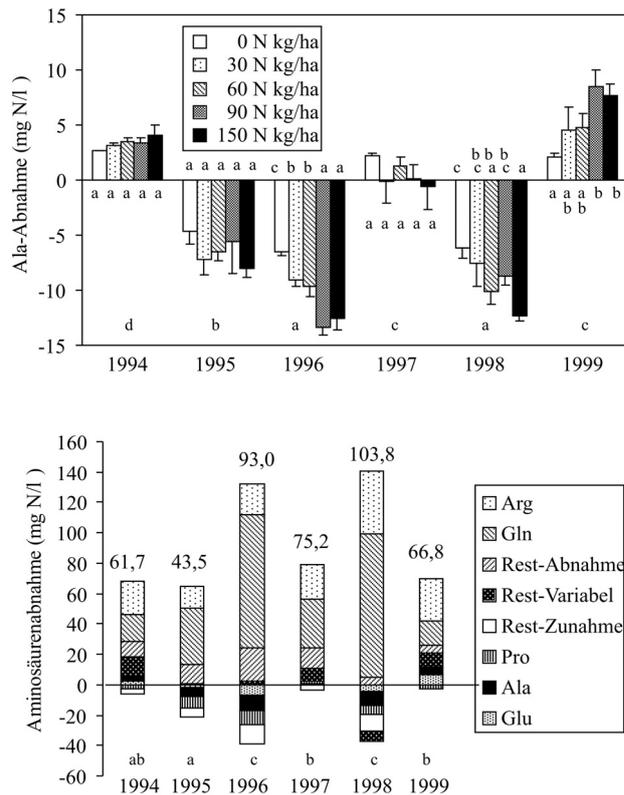


Abb. 5: Veränderung der Alanin-Konzentration während der Gärung bei den verschiedenen Düngevarianten (a, b, c: nicht signifikante Unterschiede sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet) sowie die Veränderung der Aminosäurenkonzentration im Mittel der Jahrgänge 1994-1999.

Tab. 4: Abnahme (mg/l) \pm Standardfehler (n = 6 Jahre) an den Nährstoffen N, P, K und Mg während der Gärung, sowie Varianzanteil (VA) in % der Faktoren Jahrgang und Düngung an der Gesamtstreuung (*: $\alpha = 5\%$, **: $\alpha = 1\%$, ***: $\alpha = 0,1\%$). Nicht signifikante Unterschiede ($\alpha = 5\%$) zwischen den Dünge­stufen sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet.

	N (kg/ha)	N (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)
	0	63,5 \pm 11,7 a	18,4 \pm 4,0 c	277,1 \pm 73,5 a	3,5 \pm 2,5 a
	30	76,4 \pm 20,9 ab	12,9 \pm 3,3 b	294,4 \pm 68,0 a	0,6 \pm 2,3 a
	60	80,3 \pm 25,5 ab	7,0 \pm 5,0 a	293,1 \pm 79,9 a	0,0 \pm 2,2 a
	90	99,1 \pm 24,9 b	11,4 \pm 4,0 ab	307,3 \pm 86,1 a	-0,4 \pm 2,4 a
	150	117,5 \pm 20,1 c	11,1 \pm 6,0 ab	317,8 \pm 89,6 a	0,3 \pm 3,0 a
VA	Jahrgang (J)	48,9***	33,6***	82,6***	36,4***
	Düngung (D)	9,3***	7,5**	0,6	2,6
	J x D	9,6	23,5	3,4	5,5

in einigen Jahren während der Gärung abnehmen (Prolin, Alanin, Glutaminsäure, Asparagin, γ -Aminobuttersäure, Citrullin, Glycin, Threonin). Die Konzentrationen dieser Aminosäuren nahmen in den Jahren mit ausreichender Stickstoffversorgung für die Hefen im Laufe der Gärung sogar zu. In den Mangeljahren wurden diese Aminosäuren aber vermehrt von den Hefen verbraucht. Dabei variierte dieser Verbrauch auch in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung je nach Aminosäuren unterschiedlich stark. Bei Alanin (Ala) fand sich z.B. in den gut mit Stickstoff versorgten Jahren in allen Düngevarianten eine Zunahme. In den schlechter versorgten Jahren 1994 und 1999 wurde Alanin dagegen in allen Düngevarianten von den Hefen verbraucht. Prolin dagegen nahm in aller Regel in der Gärung zu. Dies gilt selbst für die schlecht versorgten Jahre. Nur in einigen einzelnen Düngevarianten in diesen Jahren wurde auch Prolin von den Hefen verbraucht.

Die Hefen benötigen nicht nur Stickstoffverbindungen, sondern weitere Mineralstoffe. Dem Phosphat kommt dabei eine wichtige Rolle zu, aber auch weitere Makro- und Mikronährstoffe sind für den Stoffwechsel der Hefen unentbehrlich. Während der Gärung wurden die Mineralstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium deutlich reduziert (Tab. 4). Die Konzentrationen an Stickstoff und Kalium nahmen in den Mosten aus den gedüngten Varianten stärker ab, Phosphor und Magnesium wurden dagegen in der Nullvariante am stärksten reduziert. Die Stickstoffabnahme während der Gärung beruht zum größten Teil auf dem Verbrauch an Aminosäuren durch die Hefe.

Gärintensität. Die Gärgeschwindigkeit ist bei der Vinifikation von großer Bedeutung (TROOST, 1980). Eine zu schnelle Gärung ohne Kühlung führt durch zu starke Temperaturentwicklung zum Versieden der Weine, vor allem natürlich in Großgebinden. Eine ge-

mäßigte Gärgeschwindigkeit bewirkt dagegen nachweislich höhere Konzentrationen an fruchtigen Gäraromen aus der Gruppe der Ester. Eine zu langsame Gärung birgt aber die Gefahr der Gärstockung mit restsüßen Weinen. Hohe Aminosäurenkonzentrationen begünstigen eine schnellere Gärung (PRIOR, 1997). SEITER et al. (2002) fanden eine gute Korrelation zwischen dem hefeverwertbaren Stickstoff im Most und der Gärdauer. MAIGRE (2002) fand dagegen keinen Zusammenhang zwischen Stickstoff im Most und der Gärdauer. Im vorliegenden Versuch nahm die Gärintensität im Schnitt mit der Aminosäurenkonzentration im Most zu (Abb. 6). Aber man kann deutlich erkennen, dass weitere Einflüsse eine Rolle spielen. In den einzelnen Jahren fiel oft eine Variante heraus. Eine jahrgangsbedingt höhere Aminosäurenkonzentration führte ebenfalls nicht unbedingt zu einer höheren Gärintensität, wie der Vergleich der Jahrgänge 1997 und 1998 mit gleicher Gärgeschwindigkeit bei wesentlich niedrigerer Aminosäurenkonzentration in 1997 zeigt. Eine bessere Stickstoffversorgung der Moste führte somit nicht zwingend zu einer intensiveren Gärung. Unter diesen Umständen kann auch die Grenze von 150 mg Aminosäurenstickstoff pro Liter im Most als Indikator für guten Gärverlauf in Frage gestellt werden. RAPP und VERSINI (1996) machen die Grenze unter anderem an der Produktion aromawirksamer Substanzen fest. Ein niedrigerer Endvergärungsgrad bedeutet restsüße Weine. Auch bei diesem Kriterium kann nicht von einer festen Aminosäurenkonzentration als Grenze für gute Vergärbarkeit ausgegangen werden. Bei den Jahrgängen 1995 und 1998 wirkten sich die unterschiedlichen Aminosäurenkonzentrationen (155 bzw. 309 mg/l N) im Most nicht aus; alle Weine wiesen eine leichte Restsüße auf. Selbst im Jahr 1996, mit hohen Aminosäurekonzentrationen von durchschnittlich 490 bzw. 630 mg/l Stick-

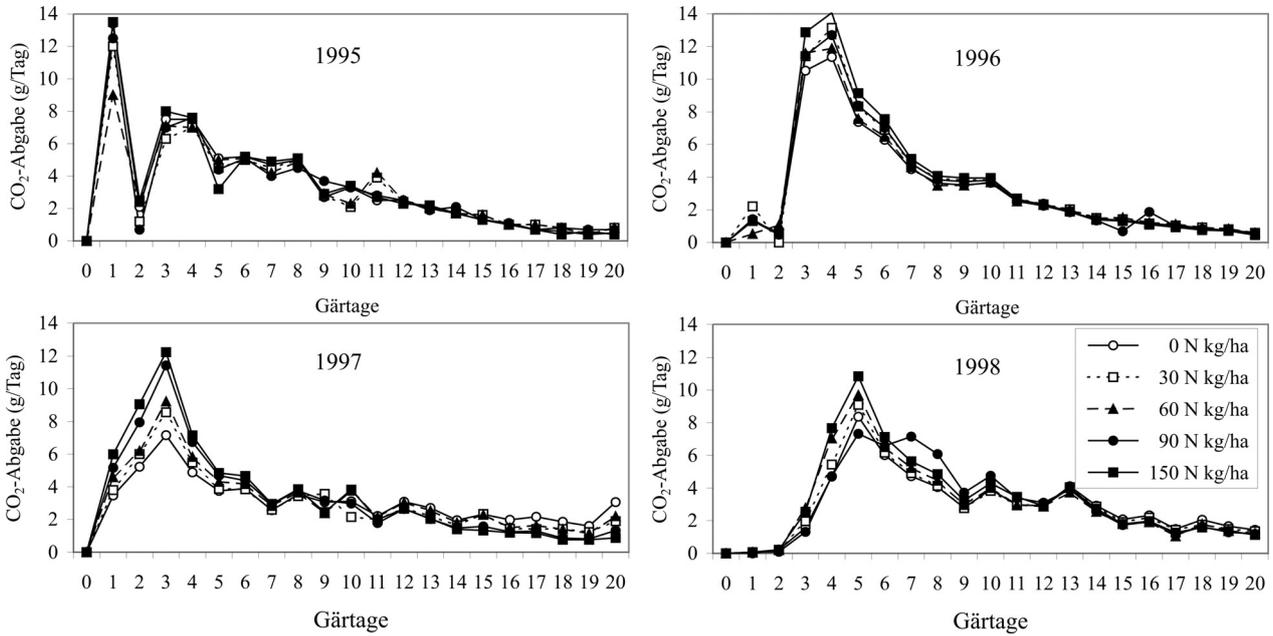


Abb. 6: Gärintensität anhand der täglichen CO₂-Abgabe der Jahrgänge 1995-1998.

stoff in den ungedüngten bzw. in der mit 60 kg N/ha gedüngten Varianten, waren die Weine mit 13 bzw. 15 g/l Restzucker nicht durchgegoren. Die Weine aus den Nullvarianten von 1994, 1997 und 1999 blieben ebenfalls in der Gärung stecken, was in Restzuckergehalten von über 20 g/l resultierte. Da neben dem Jahr 1996 auch in den Jahren 1994 und 1999 die Weine aus der hochgedüngten Variante gut durchgegoren sind, ohne nennenswerte Restzuckergehalte aufzuweisen, kann anhand der Aminosäurenkonzentration bestenfalls innerhalb eines Jahres auf die Vergärbarkeit geschlossen werden.

Sensorik

Für die Weinqualität ist letztendlich die sensorische „Qualität im Glas“ entscheidend. Die deutlichen Mangelerscheinungen in der seit 20 Jahren ungedüngten Variante (LINSENMEIER und LÖHNERTZ, 2006) wie auch die großen Unterschiede zwischen den analytischen Mostdaten sowie im Gärverlauf ließen auch spürbare Unterschiede in der Sensorik erwarten, zumal Stickstoffmangel im Most auch im Ruf steht, zu Fehltonen im Wein zu führen (RAUHUT et al., 1993). Bei der sensorischen Prüfung der Weine aus den letzten drei Jahrgängen fanden sich jedoch weder beim Rangordnungstest, noch bei der Bewertung nach dem DLG-5-Punkte-Schema deutliche Unterschiede zwischen den Weinen aus den verschiedenen Dünge­stufen (Tab. 5). Es fand sich auch

kein konsistenter Dünge­einfluss, so dass sich kein Trend erkennen lässt. Zudem waren die Bewertungen

Tab. 5: Sensorik der Jahrgänge 2003-2005. Rangordnungs­test (niedrige Zahl für besseren Wein), sowie Mittelwerte und Standardfehler der Verkostung nach den Attributen Geruch, Geschmack und Frucht (0-5 Punkte). Nicht signifikante Unterschiede ($\alpha = 5\%$) zwischen den Dünge­stufen sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet.

	N/ha (kg)	2003	2004	2005
Rang	0	2,8 a	4,1 b	3,8 b
	30	2,8 a	3,3 ab	3,3 ab
	60	3,6 ab	2,9 a	2,6 a
	90	4,3 b	3,5 ab	3,1 ab
	150	3,6 ab	3,9 b	4,8 b
Geruch	0	2,8 ± 0,3 a	2,1 ± 0,4 a	2,7 ± 0,2 a
	30	2,0 ± 0,2 b	2,4 ± 0,3 a	2,0 ± 0,3 a
	60	1,9 ± 0,2 b	2,2 ± 0,3 a	2,1 ± 0,3 a
	90	2,4 ± 0,2 ab	2,3 ± 0,3 a	2,8 ± 0,4 a
	150	2,3 ± 0,3 ab	2,8 ± 0,3 a	2,2 ± 0,4 a
Geschmack	0	2,8 ± 0,2 a	2,8 ± 0,3 a	2,3 ± 0,5 a
	30	2,4 ± 0,3 a	2,6 ± 0,3 a	2,6 ± 0,3 a
	60	2,3 ± 0,2 a	2,7 ± 0,2 a	2,2 ± 0,5 a
	90	2,2 ± 0,3 a	2,1 ± 0,2 a	2,8 ± 0,3 a
	150	2,3 ± 0,3 a	3,0 ± 0,2 a	2,4 ± 0,3 a
Frucht	0	2,4 ± 0,2 a	2,0 ± 0,4 a	2,6 ± 0,4 a
	30	1,6 ± 0,3 a	2,4 ± 0,4 a	2,1 ± 0,5 a
	60	1,7 ± 0,2 a	2,2 ± 0,3 a	2,2 ± 0,5 a
	90	2,2 ± 0,4 a	2,6 ± 0,3 a	2,8 ± 0,5 a
	150	2,0 ± 0,3 a	2,6 ± 0,4 a	2,2 ± 0,5 a

der Weine in den verschiedenen Jahren nicht einheitlich. Die Weine aus der Nullvariante wurden in einem von drei Jahren im Rangordnungsplatz an die erste Stelle gesetzt, in einem Jahr dagegen auf den letzten Platz. Frühere Verkostungen von Weinen aus diesem Düngungsversuch erbrachten in der Tendenz eine Bevorzugung der Weine aus der ungedüngten Variante sowie oftmals niedrige Qualitätszahlen für die Weine aus der hoch gedüngten Variante (PRIOR, 1997; BLESER, 1999; LINSENMEIER et al., 2006). Dagegen wurden bisher hauptsächlich positive Effekte der Stickstoffdüngung auf die Weinqualität publiziert (KANNENBERG, 1993; MAIGRE, 1998; SEITER, 2000). Es wurde aber auch schon, gerade bei sehr lang dauernden Versuchen, kein Einfluss der Stickstoffdüngung auf sensorische Weinqualität festgestellt (MÜLLER, 1999) oder eine Bevorzugung der Weine aus der ungedüngten Kontrolle (DELAS, 1993).

Ein Stickstoffmangel wurde immer wieder als Ursache des untypischen Alterungstons (UTA) genannt. MÜLLER (1999) und SEITER (2000) fanden dies allerdings nur in einer schwachen Tendenz wieder. Die Weine der Jahrgänge 2003 und 2004 waren bei der vorliegenden Verkostung frei von UTA. Weine aus früheren Jahrgängen dieses Versuchs zeigten nach einer längeren Lagerung sogar eine niedrigere UTA-Belastung bei Stickstoffmangel (LINSENMEIER et al., 2007).

Schlussfolgerungen

Selbst bei den vorliegenden eher niedrigen Humusgehalten fanden sich nur geringe und oftmals sogar negative Effekte der Stickstoffdüngung auf Most- und Weinqualität. Es konnten zwar in der Stickstoffmangelvariante Ertragseinbußen festgestellt werden, angesichts der im qualitätsorientierten Weinbau angestrebten niedrigeren Erträge war dies aber nicht von Belang. Insgesamt blieb die generative Leistungsfähigkeit der seit 20 Jahren ungedüngten Reben erhalten. Das Mostgewicht war im langfristigen Trend sogar erhöht. Wie auch beim Prolin darf dieser Reifeparameter aber nicht isoliert betrachtet werden; es ist entscheidend, durch welche Maßnahmen die Unterschiede entstehen. Das höhere Mostgewicht wurde maßgeblich durch den vom Stickstoffmangel induzierten Minderertrag hervorgerufen. Ab dem Zeitpunkt, als im Verlauf des Versuches die Ertragskomponente durch Ausdünnung ausgeschaltet wurde, war das Mostgewicht in der ungedüngten Variante nicht mehr höher als in den gedüngten Varianten. Stattdessen war nun die Prolinkonzentration nied-

riger. Die Versorgung der Moste mit Aminosäuren bzw. Stickstoff wurde durch die Stickstoffdüngung deutlich erhöht. Gärintensität und Endvergärungsgrad, welche damit zusammenhängen sollten, waren oft, aber nicht im Allgemeinen davon beeinflusst. Als Folge daraus waren die Weine aus der ungedüngten Variante in einigen Jahren deutlich restsüßer, darüber hinaus ließen sich aber keine einheitlichen sensorischen Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festmachen. Die Weine aus der langjährig ungedüngten Variante waren sensorisch jedenfalls nicht schlechter als die Weine der Varianten mit jährlichen Düngungsgaben von 30 bis 150 kg N/ha. Da die langjährig ungedüngten Reben nur wenig auf den Stickstoffmangel reagierten (Ertrag, Mostgewicht), darf erst recht kein Düngungseffekt auf Grund der verschiedenen hohen Stickstoffgaben erwartet werden. Bei den Stickstoffparametern Aminosäuren und Gesamtstickstoff im Most sowie dem Botrytisbefall und den Gärparametern (Aufnahme von Mineralstoffen und Aminosäuren durch Hefen) ließen sich jedoch auch die gedüngten Varianten untereinander differenzieren. Viele Parameter waren bei den mit 30 bzw. 60 kg N/ha gedüngten Varianten gleich, unterschieden sich aber von den mit 90 und 150 kg N/ha gedüngten Varianten. Der gleiche Lesezeitpunkt für alle Varianten verzerrt etwas das übliche Vorgehen in der Praxis. Auf Grund der gesünderen Trauben bei niedriger Stickstoffversorgung hätten diese Varianten entsprechend später gelesen werden können, was sich wiederum positiv auf die Stickstoffeinlagerung und das Mostgewicht ausgewirkt hätte. Im vorliegenden Versuch genügten 30 kg N/ha für ein stabiles Ertragsniveau sowie entsprechende Mostqualität (gemessen anhand Mostgewicht, Mostsäure, Aminosäuren) und Aufrechterhaltung des Stickstoffstatus der Rebe.

Danksagung

Für die Bereitstellung der Versuchsfläche und die gute Zusammenarbeit danken wir dem Weingut Schloss Vollrads und seinem Außenbetriebsleiter GERD WENDLING. Der Firma BASF gilt unser Dank für ihre Sachmittelunterstützung seit den Anfängen dieses Versuchs und ihr Interesse an den Ergebnissen. Herrn LOOS danken wir für die genaue Versuchsdurchführung sowie ihm und seinen Helfern für das Ziehen der über 11.000 Bodenproben. Herrn MUSKAT danken wir für die vorbildliche Organisation der Lese und den darauf folgenden Ausbau der Weine. Den Laborkräften des Fachbereichs Bodenkunde sei gedankt für die umfangreichen analytischen Arbeiten, namentlich Frau WEBER für die

Aminosäurenbestimmung mit der HPLC und ihr sowie Frau BEIKLER und Frau EULER für die Aufbereitung von über 23.000 Boden-, Blatt-, Holz-, Most- und Weinproben. Herrn LEHNART sei schließlich gedankt für die gewissenhafte, sorgfältige Analytik mittels AAS, FIA und Photometer für insgesamt über 100.000 Mineralstoffbestimmungen.

Literatur

- AHMEDULLAH, M. and ROBERTS, S. (1991): Effects of soil-applied nitrogen on yield and quality of Concord grapevines. Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine, p. 200-201. - Seattle, Washington, USA, June 1991
- BELL, S.-J. (1991): The effect of nitrogen fertilization on growth, yield and juice composition of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon grapevines. Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in grapes and Wine, p. 206-210. - Seattle, Washington, USA, June 1991
- BLESER, M. (1999): Einfluss von N-Düngung und Begrünung auf die Gesamt-N-, Aminosäure-N- und Polyamin-N-Gehalte in Beeren, Mosten und Weinen von *Vitis vinifera* L. (cv. Riesling) im Verlauf zweier Vegetationsperioden. - Diss. Univ. Gießen (Geisenheimer Berichte, 42)
- BRECHBÜHLER, C. und MEYER, E. 1988: Ergebnisse eines Düngungsversuches mit geteilten Stickstoffgaben. Mitt. Klosterneuburg 38: 170-172
- BUCHER, R. 1969: Ergebnisse eines neunjährigen Rebdüngungsversuchs über die Wirkung steigender Stickstoff- und Spurenelementgaben auf die Menge und Güte der Trauben und Möste sowie auf die Aufnahme von Makro- und Mikronährstoffen durch die Rebe. Weinberg und Keller 16: 227-252
- CHRISTENSEN, L.P., BIANCHI, M.L., PEACOCK, W.L. and HIRSCHFELT, D.J. 1994: Effect of nitrogen fertilizer timing and rate on inorganic status, fruit composition, and yield of grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 45(4): 377-387
- CONRADIE, W.J. 2001a: Timing of nitrogen fertilisation and the effect of poultry manure on the performance of grapevines on sandy soil. I. Soil analysis, grape yield and vegetative growth. S. Afr. J. Enol. Vitic. 22: 53-59
- CONRADIE, W.J. 2001b: Timing of nitrogen fertilisation and the effect of poultry manure on the performance of grapevines on sandy soil. II. Leaf analysis, juice analysis and wine quality. S. Afr. J. Enol. Vitic. 22: 60-68
- CONRADIE, W.J. and SAAYMAN, D. 1989a: Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on Chenin blanc. I. Nutrient demand and vine performance. Am. J. Enol. Vitic. 40: 85-90
- CONRADIE, W.J. and SAAYMAN, D. 1989b: Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on Chenin blanc. II. Leaf analysis and grape composition. Am. J. Enol. Vitic. 40: 91-98
- CURRLE, O., BAUER, O., HOFÄCKER, W., SCHUMANN, F. und FRISCH, W. (1983): Biologie der Rebe. - Neustadt/Weinstraße: Meiningen, 1983
- DELAS, J. 1993: Nutrition azotée - composition des baies et de moûts. Progr. Agric. Vitic. 110: 385-392
- DELAS, J., MOLOT, C. and SOYER, J.-P. 1991: Effects of nitrogen fertilisation and grafting on the yield and quality of the crop of *Vitis vinifera* cv. Merlot. Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in grapes and Wine, p. 242-248. - Seattle, Washington, USA, June 1991
- EWART, A. and KLIIEWER, W.M. 1977: Effects of controlled day and night temperatures and nitrogen on fruitset, ovule fertility and fruit composition of several wine grape cultivars. Am. J. Enol. Vitic. 28: 88-95
- FOX, R. (1998): Einfluss von Bodenpflege und N-Düngung auf analytische Daten sowie die sensorische Beurteilung der Weine. Proceedings XII. Int. Kolloquium zur Begrünung im Weinbau, S. 164-168. - Vogtsburg-Oberrotweil, 1998
- GÄRTEL, W. 1966: Über die Düngung der Reben in intensiv bewirtschafteten Weinbaugebieten. Weinberg und Keller 13: 295-326
- HILBERT, G., SOYER, J.P., MOLOT, C., GIRAUDON, J., MILIN, S. and GAUDILLERE, J.P. 2003: Effects of nitrogen supply on must quality and anthocyanin accumulation in berries of cv. Merlot. Vitis 42: 69-76
- KANNENBERG, J. 1992: Einfluß langjähriger Stickstoffdüngung bei Reben unter Berücksichtigung von Boden-Rest-N_{min}-Gehalten. Dt. Weinbau-Jahrb. 42: 151-159
- KANNENBERG, J. 1993: Einfluß der Stickstoffdüngung auf Ertrag und Weinqualität bei Blauem Spätburgunder. Rebe & Wein (11): 351-353, (12): 377-380
- KIEFER, W., WEBER, M. und EISENBARTH, H.J. 1976: Einfluß des Anschnitts auf Menge und Güte des Ertrages bei verschiedenen Rebsorten. Dt. Weinbau 31: 578-584
- KLIIEWER, W.M. (1991): Methods for determining the nitrogen status of vineyards. Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine, Seattle, p.133-147. - Seattle, Washington, USA, June 1991
- KLIIEWER, W.M., BOGDANOFF, C. and BENZ, M. (1991): Responses of Thompson Seedless grapevines trained to single and divided canopy trellis systems to nitrogen fertilization. Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine, Seattle, p. 282-289. - Seattle, Washington, USA, June 1991
- KLIIEWER, W.M. and COOK, J.A. 1971: Arginine and total free amino acids as indicators of the nitrogen status of grapevines. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 96: 581-587
- KLIIEWER, W.M. and OUGH, C.S. 1970: The effect of leaf area and crop level on the concentration of amino acids and total nitrogen in Thompson Seedless grapes. Vitis 9: 196-206
- LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen : Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen, 5. Aufl. - Stuttgart: Ulmer, 1994 (UTB ; 232)
- LINSENMEIER, A. und LÖHNERTZ, O. 2006: Einfluss der Stickstoffdüngung in einem 20-jährigen Langzeitversuch auf Wuchs, Ertrag, Most- und Weinqualität der Sorte 'Riesling'. I: Vom Boden zum Blatt. Mitt. Klosterneuburg 56: 199-212
- LINSENMEIER, A., RAUHUT, D., DIEHL, H., SCHUBERT, S. und LÖHNERTZ, O. 2006: Einfluss unterschiedlicher Stickstoffversorgung auf Aromastoffgehalte und Aromaqualität von Weinen der Sorte 'Riesling'. Mitt. Klosterneuburg 56: 84-93
- LINSENMEIER, A., RAUHUT, D., KÜRBEL, H., LÖHNERTZ, O. and SCHUBERT, S. 2007: Untypical ageing off-flavour and masking effects due to long-term nitrogen fertilization. Vitis 46: 33-38
- LÖHNERTZ, O., PRIOR, B., BLESER, B. und LINSENMEIER, A. (1998): Einfluß von weinbaulichen Maßnahmen auf die Aminosäuregehalte in Trauben und Mosten der Sorte Riesling. Proceedings Intervitis-Interfructa. 5. Internationales Symposium : Innovationen in der Kellerwirtschaft.

- Mikroorganismen und Weinbereitung, S. 1-23. - Stuttgart, 1998
- LÖHNERTZ, O. und RAUHUT, D. 1997: Bedeutung der Stickstoffversorgung für die Hefeernährung und die Weinqualität. *Bad. Winzer* (6): 36-41, (7): 20-22
- MAIGRE, D. 1998: Einfluß der Begrünung und der Stickstoffdüngung auf die Qualität von Gutedel-Weinen. *Dt. Weinbau-Jahrb.* 49: 103-114
- MAIGRE, D. 2002: Comportement du Pinot noir en présence d'enherbement et influence de la fumure azotée. 2. Résultats analytiques et organoleptiques. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 34: 239-240
- MENDEL, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, 7. Aufl. - Jena: Gustav Fischer, 1991
- MÜLLER, E. 1999: 15 Jahre Stickstoffdüngungsversuche : Erfahrungen und Konsequenzen. *Dt. Weinmagazin* (19): 27-31, (20): 29-32
- MÜLLER, K. 1986a: Einfluß der Bewirtschaftung, Wasserversorgung und Düngung von Weinbergsböden auf den Traubenertrag und die Mostqualität. *Mitt. Klosterneuburg* 36: 101-110
- MÜLLER, K. 1986b: Auswirkungen zunehmender mineralischer Stickstoffgabe bei unterschiedlichen Humusgehalten des Bodens auf die Ertragsleistung der Reben und den Gesundheitszustand des Lesegutes. *Wein-Wiss.* 41: 363-376
- OUGH, C.S. 1991: Influence of nitrogen compounds in grapes on ethyl carbamate formation in wines. *Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*, p. 165-171. - Seattle, Washington, USA, June 1991
- PRIOR, B. (1997): Einfluss der Stickstoffversorgung auf die löslichen Aminosäuren in den Organen von *Vitis vinifera* L. (cv. Riesling) und auf die Qualität des Mostes und des Weines. - Diss. Univ. Gießen, 1997 (Geisenheimer Berichte ; 32)
- RAPP, A. and VERSINI, G. 1996: Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds of wines. *Wein-Wiss.* 51: 193-203
- RAUHUT, D., KÜRBEL, H. and DITTRICH, H.H. 1993: Sulfur compounds and their influence on wine quality. *Wein-Wiss.* 48: 214-218
- SCHALLER, K. (2000): Praktikum zur Bodenkunde und Pflanzenernährung. (Geisenheimer Berichte ; 2)
- SCHRADER, U., LEMPERLE, E., BECKER, N.J. und BERGNER, K.G. 1976: Der Aminosäure-, Zucker-, Säure- und Mineralstoffgehalt in Abhängigkeit vom Kleinklima des Standorts der Rebe. 3. Mitt.: Säure und Mineralstoffhaushalt. *Wein-Wiss.* 31: 9-24, 160-175
- SCHWAB, A., PETERNEL, M. und GREBNER, E. 2004: Der Prolingehalt in weißen Traubenmosten - Ein zusätzlicher Reife- und Qualitätsindikator. *Dt. Weinbau-Jahrb.* 55: 208-221
- SEITER, P. (2000): Der Einfluß von Stickstoffdüngung und Bodenpflege auf die Stickstoffversorgung der Rebe und die Weinqualität. Eine Studie zum Problem des „Untypischen Alterungstons“. - Diss. Univ. Freiburg im Breisgau, 2000
- SEITER, P., LINSENMEIER, A. und RIEDEL, M. 2002: Einfluss von Bodenpflege und Stickstoffdüngung auf den Traubenertrag, die Stickstoffversorgung der Rebe und die hefeverwertbaren Stickstoffverbindungen im Most. *Dt. Weinbau-Jahrb.* 53: 105-111
- SMART, R.E. 1991: Canopy microclimate implications for nitrogen effects on yield and quality. *Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*, Seattle, p. 90-101. - Seattle, Washington, USA, June 1991
- SPAYD, S.E., WAMPLE, R.L., EVANS, R.G., STEVENS, R.G., SEYMOUR, B.J. and NAGEL, C.W.: 1994: Nitrogen fertilization of White Riesling grapes in Washington : Must and wine composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 45: 34-42
- TROOST, G. (1980): *Technologie des Weines*, 5. Aufl. - Stuttgart: Ulmer, 1980
- WÜRDIG, G. und WOLLER, R. (1989): *Chemie des Weines*. - Stuttgart: Ulmer, 1980

Manuskript eingelangt am 27. Oktober 2006