

Einfluss der Stickstoffdüngung auf Wuchs, Ertrag, Most- und Weinqualität der Sorte 'Riesling' in einem zwanzigjährigen Langzeitversuch I: Vom Boden zum Blatt

ALBERT LINSENMEIER und OTMAR LÖHNERTZ

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

Bei der 1977 gepflanzten Riesling-Anlage führte die Bewirtschaftung ohne jede Stickstoffdüngung seit 1985 zu einer deutlich reduzierten vegetativen Leistung gegenüber Varianten mit 30 bis 150 kg Stickstoffdüngung pro Jahr. Der Holztertrag war bei der ungedüngten Variante im Schnitt um 25%, die Blattgröße um 18% geringer als bei den gedüngten Varianten. Eine Differenzierung dieser Parameter zwischen den gedüngten Varianten war nicht möglich. Bodenuntersuchungen nach der N_{min} -Methode zeigten, dass sich die Varianten mit 30 und 60 kg N/ha in ihrem Stickstoffangebot nicht unterschieden, die mit 150 kg N/ha gedüngte Variante lag im N_{min} -Gehalt nur wenig über der mit 90 kg N/ha gedüngten Variante. Diese Verhältnisse spiegelten sich auch in den Stickstoff-Blattkonzentrationen wider. Im Mittel lagen die Stickstoffkonzentrationen zur Blüte in der ungedüngten Variante bei 2,6% in der TS, in den gedüngten Varianten bei 2,8% (30 bzw. 60 kg N/ha) und 3,0% (90 bzw. 150 kg N/ha). Die Blattanalyse ließ keine nachlassende Stickstoffversorgung der ungedüngten Reben über den ganzen Versuchszeitraum von 20 Jahren erkennen. Sowohl das Niveau der Stickstoffkonzentration als auch der Unterschied zwischen den Stickstoffkonzentrationen der ungedüngten und der gedüngten Varianten blieb stabil. Die Analyse der Mineralstoffe und Aminosäuren im Blutungssaft zeigte, dass die Mobilisierung von Stickstoff beim Austrieb aus dem Holzkörper sowohl bei Stickstoffmangel als auch bei Stickstoffüberschuss herabgesetzt war.

Schlagwörter: Rebernährung, Riesling, Stickstoffdüngung, N_{min} , Blutungssaft, Blattanalyse, Mineralstoffe

Influence of nitrogen fertilization on growth, yield, must and wine quality of 'Riesling' in a 20-year trial. I: From soil to leaf. This trial was conducted over a period of 20 years on a 'Riesling' vineyard planted in 1977. Compared to a nitrogen fertilization of 30 to 150 kg N/ha per year, the unfertilized treatment resulted in reduced vegetative production: on average, wood yield was reduced by 25%, leaf area by 18%. The fertilized variants did not differ in these parameters. N_{min} concentrations in the soil were not different in the 30 and 60 kg N/ha variants, fertilization with 150 kg N/ha only resulted in slightly higher N_{min} concentrations than in treatments with 90 kg N/ha fertilization. These results could be found for nitrogen concentration in leaves, too. At bloom, leaf nitrogen concentration in the unfertilized treatment was of 2.6%, whereas fertilization resulted in a concentration of 2.8% (30 and 60 kg N/ha, resp.) and 3.0% (90 and 150 kg N/ha, resp.). Leaf analysis of unfertilized vines did not show a decrease in nitrogen supply over the period of 20 years. Both the level of nitrogen concentration and the difference of leaf nitrogen concentration between fertilized and unfertilized vines were stable. Bleeding sap analysis (nutrients, amino acids) showed that the mobilisation of nitrogen at bud break was reduced as well by nitrogen deficiency as by nitrogen excess.

Key words: nitrogen fertilization, N_{min} , bleeding sap, leaf analysis, vine nutrition, 'Riesling', minerals

L'influence de la fertilisation azotée sur la croissance, le rendement et la qualité du moût et du vin du cépage 'Riesling' au cours d'un essai de longue durée sur vingt ans. I: Du sol à la feuille. Dans la plantation 'Riesling', créée en

1977, l'exploitation sans aucune fertilisation azotée a conduit, depuis 1985, à une performance végétative sensiblement réduite par rapport aux variantes ayant fait l'objet d'une fertilisation à raison de 30 à 150 kg d'azote par an. Le rendement en bois de la variante non fertilisée était en moyenne inférieure de 25 % à celui des variantes fertilisées, et la taille des feuilles était inférieure de 18 % par rapport à celle des variantes fertilisées. Il n'a pas été possible de différencier ces paramètres entre les variantes fertilisées. Les examens du sol suivant la méthode N_{min} ont eu pour résultat que les variantes fertilisées à raison de 30 et 60 kg N/ha ne se distinguaient pas en ce qui concerne leur offre en azote, la variante fertilisée à raison de 150 kg N/ha présentait une teneur N_{min} légèrement plus élevée que la variante fertilisée à raison de 90 kg N/ha. Ces rapports se traduisent également par les concentrations d'azote dans les feuilles. En moyenne, les concentrations d'azote de la variante non fertilisée s'élevaient à 2,6 % dans la matière sèche lors de la floraison, celles des variantes fertilisées s'élevaient à 2,8 % (30 et 60 kg N/ha) et à 3,0 % (90 et 150 kg N/ha). L'analyse des feuilles n'a révélé aucune diminution de l'alimentation en azote des vignes non fertilisées au cours de toute la période d'essai de 20 ans. Tant le niveau de la concentration d'azote que la différence entre les concentrations d'azote des variantes non fertilisées et fertilisées sont restés stables. L'analyse des substances minérales et des acides aminés dans les pleurs a montré que la mobilisation d'azote lors du bourgeonnement était diminuée tant en cas de manque d'azote qu'en cas d'excédent d'azote.

Mots clés : alimentation de la vigne, Riesling, fertilisation azotée, N_{min} , pleurs, analyse des feuilles, substances minérales

Der Einfluss der Stickstoffdüngung auf die vegetative und generative Leistung der Rebe wurde in einer Vielzahl von Arbeiten untersucht. Die Fragestellungen aus dem Themenkomplex der Stickstoffernährung der Reben wandelten sich deutlich im Laufe der Zeit. Als Stichworte sollen hier nur Ertragssicherheit, später Umweltschutz und in jüngerer Zeit Weinqualität genannt werden. Als perennierende Pflanze kann die Rebe auf ein hohes Speichervermögen an Stickstoff in ihrem Holzkörper zurückgreifen (SCHALLER et al., 1989; CONRADIE, 1991). Aus diesem Grund reagiert die Rebe oft erst nach mehreren Jahren auf eine unterschiedliche Stickstoffdüngung. Dies erklärt, warum der Einfluss der Stickstoffdüngung auf verschiedene Parameter in der Literatur unterschiedlich beschrieben wird. Der Ertrag kann durch eine Stickstoffdüngung gesteigert werden (CONRADIE and SAAYMAN, 1989a und b; KANNENBERG, 1990; SPAYD et al., 1993), abfallen (DE LAS et al., 1991) oder unbeeinflusst bleiben (BUCHER, 1969; MÜLLER, 1986b). Gleiches gilt für das Mostgewicht, welches aufgrund einer Stickstoffdüngung steigen kann (BUCHER, 1969; FOX, 1995), sinken kann (DE LAS et al., 1991; HILBERT et al., 2003) oder gleich bleibt (MÜLLER, 1986a; SPAYD et al., 1994). Aus diesem Grund sind etablierte langjährig variierte Stickstoff-Steigerungsversuche besonders wertvoll, um neu aufkommende Fragen adäquat untersuchen zu können. Allerdings sind Stickstoffdüngungsversuche im Weinbau, die länger als zehn Jahre laufen, selten. BUCHER (1969) und CONRADIE (2001a und b) beschreiben Ergebnisse aus neunjährigen Versuchen, CONRADIE und SAAYMAN (1989) sowie KANNENBERG (1992) einen zehnjährigen

Versuch und MÜLLER (1999) einen 15-jährigen Versuch. Die hier vorgestellten Ergebnisse stammen aus einem seit 20 Jahren bestehenden Stickstoffsteigerungsversuch von nun 28-jährigen Reben. In dieser Arbeit wird die Stickstoffversorgung anhand der N_{min} -Werte im Boden dokumentiert. Neben den langfristigen Auswirkungen auf vegetative Parameter sollte auch untersucht werden, inwiefern die Pflanzenanalyse geeignete Indikatoren der Stickstoffversorgung liefert.

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Bei der Versuchsanlage handelte es sich um eine im Jahr 1977 mit der Sorte 'Riesling' auf der Unterlage 'Teleki 5C' bepflanzte Anlage in der Gemarkung Oestrich-Winkel, Rheingau (50°N, 8°E). Zeilenbreite und Stockabstand betragen 1,9 x 1,3 m. Die Erziehungsform war eine Drahtrahmenanlage mit Pendelbogenerziehung und einer Stockbelastung von 8 bis 10 Augen/m² zu Beginn des Versuches bis 5 Augen/m² am Ende der Versuchszeit. Die Hangneigung betrug ca. 10° Richtung Süd-Ost. Der Boden war ein sandiger Lehm, der Wasserhaushalt des Bodens war auf Grund seiner hohen maximalen nutzbaren Feldkapazität (nFK) sehr günstig, zudem war der Boden enorm tiefgründig. Weitere Einzelheiten betreffend Bodeneigenschaften sind in Tabelle 1 aufgeführt. Witterungsdaten des Versuchsstandorts im langjährigen Mittel sind in Tabelle 2 dargestellt. Der Versuch wurde im Jahr 1985 als randomisierte Blockanlage mit vierfacher Wiederholung angelegt, wo-

Tab. 1: Bodenkenndaten in der Versuchsfläche

Typ	Parabraunerde/Pararendzina-Rigosol	
Art	sandiger Lehm, Untergrund tertiärer Meeressand	
Tiefgründigkeit	> 8 m	
Körnungsanalyse		Anteil (%)
	Skelett	11,6
	Sand	34,6
	Schluff	40,8
	Ton	24,7
Wasserhaushalt	pF 4,2	9 % vol
	Max nFK	280 mm
chem. Kenndaten	pH (CaCl ₂)	7,6
	C	0,80%
	N	0,07%
	CAL-	mg/100 g
	Untersuchung	(Gehaltsklasse)
	P ₂ O ₅	28 (D)
	K ₂ O	23 (D)
MgO	8 (B)	

Tab. 2: Witterungsdaten im langjährigen Mittel (1961-1990), Quelle: Deutscher Wetterdienst, Geisenheim

	Lufttemperatur (Ø °C)	Niederschlag (Σ mm)	Sonnenschein (Σ Stunden)
Jan	1,7	37,0	43,5
Feb	2,5	31,7	77,1
März	6,3	35,5	119,8
Apr	9,5	35,0	171,7
Mai	14,2	48,1	209,4
Juni	17,0	52,8	200,1
Juli	19,1	59,3	225,8
Aug	18,8	43,3	219,8
Sept	14,7	42,7	151,0
Okt	9,9	47,1	94,0
Nov	5,2	45,4	52,0
Dez	3,0	48,4	38,7
Jahreswerte	10,2	526,3	1602,9
Vegetationsperiode	14,7	328,3	1271,8
Juli-Sept	17,5	145,3	596,6

bei die Höhe (0, 30, 60, 90, 150 kg N/ha) und der Zeitpunkt (Austrieb, Nachblüte) der Stickstoffdüngung variierten. Die Austriebsdüngung erfolgte mit Nitrophoska perfekt (15/5/20/2) und die Nachblütendüngung mit Kalkammonsalpeter (27,5%). Zur Ausgleichdüngung (P, K, Mg) der Düngevarianten wurden Hyperphos und 50er Kali eingesetzt. Seit dem Jahrgang 1999 fanden als qualitätsfördernde Maßnahme eine Entblätterung der Traubenzone und eine Ausdünnung der Trauben statt.

Das gesamte Versuchsfeld war 0,65 ha groß und alter-

nierend begrünt. Die Dauerbegrünung wurde 1987 in jede zweite Reihe eingesät, wobei die begrünte Zeile seither nie umgebrochen wurde. Der Unterstockbereich wurde mit drei- bis viermaliger mechanischer Bearbeitung offen gehalten. Die offenen Gassen wurden pro Jahr etwa fünfmal mit dem Grubber bearbeitet und in den begrüntem Gassen wurde im Frühjahr das Schnittholz gehäckselt und pro Jahr vier- bis fünfmal gemulcht. Eine Parzelle war 125 m² groß und mit 48 Reben über vier Rebzeilen bestockt, wobei die Probenahme immer in den mittleren beiden Zeilen erfolgte. Die hier vorgestellten Ergebnisse stammen aus sämtlichen Wiederholungen der folgenden Düngungsvarianten: 0/0, 30/0, 0/60, 90/0, 90/60. Die erste Zahl gibt die Austriebsdüngung, die zweite die Nachblütendüngung in Kilogramm Stickstoff pro Hektar (kg N/ha) an. Im Folgenden werden diese Varianten nur mit der Gesamtmenge der Stickstoffdüngung angegeben (0, 30, 60, 90, 150 kg N/ha/Jahr).

Probennahme

Die Bodenproben wurden zu den Terminen Austrieb, Ende der Blüte, Reifebeginn und Vegetationsende in jeder Parzelle aus den Tiefen 0 bis 60 cm gezogen. An abwärts gerichteten Bogenreben wurde der Blutungssaft (BLS) in Auffangbehältern gesammelt, die wöchentlich geleert wurden. Dabei wurde die Bogenrebe frisch angeschnitten. Pro Parzelle wurden zwei Reben beprobt. Beginn der Probennahme war fünf Wochen vor dem Austrieb. Im Jahr 1997 wurde der Versuch bis zum 5-Blatt-Stadium weitergeführt, 1998 wurde die Probenahme mit dem Austrieb beendet. Der BLS wurde bis zur Analyse bei -20 °C gelagert.

Für die Blattanalysen wurden zur abgehenden Blüte gegenüber der ersten Traube am stocknahen Trieb Blätter genommen. Die Blätter wurden gewaschen und bei 90 °C getrocknet.

Untersuchungsmethoden

Vegetative Parameter. Die Bestimmung des Schnittholzgewichts wurde an vier Stöcken pro Parzelle beim Rebschnitt im Winter vorgenommen. Der Durchmesser der einjährigen Triebe und die Blattfläche wurden im Jahr 1999 und 2006 bestimmt. Der Durchmesser an der schmalen Seite von zehn Trieben pro Parzelle wurde vermessen und daraus der Mittelwert bestimmt. Zur Bestimmung der Größe der Blätter wurden an zwei Stöcken pro Parzelle an je einem Trieb vorne, in der Mitte und am Ende der Bogenrebe alle Blätter des Haupttriebes vermessen. Die Länge des Hauptnervs

Tab. 3: Humus, CaCO₃-Gehalt und durchschnittlicher N_{min}-Gehalt (Mittelwert 1994-2005) in den offen gehaltenen Zeilen

	Humus (%)			CaCO ₃ (%)	N _{min} (kg NO ₃ -N/ha)
	1989	1999	2006	1989	1994-2005
0 N kg/ha	1,2	1,3	1,4	1,7	17
30 N kg/ha	1,6	1,6	2,0	2,7	35
60 N kg/ha	1,3	1,5	1,5	2,6	34
90 N kg/ha	1,2	1,6	1,5	1,5	76
150 N kg/ha	1,1	1,4	1,5	1,6	86

der Blattspreite (LHB) wurde mit der Regressionsgleichung von SCHULTZ (1992) umgerechnet:

$$\text{Blattfläche (cm}^2\text{/Blatt)} = 1,18 * (\text{LHB} - 2,6) * (\text{LHB} + 8,75)$$

Chlorophyll. Mit einem Handphotometer (N-Tester) der Firma Hydro-Agri wurde der Chlorophyllgehalt der Blätter zum Zeitpunkt 60 °Oe der Beeren gemessen. Der N-Tester bestimmt den Chlorophyllgehalt der Blätter mittels Transmission bei einer Absorption von 650 nm. Ein Messwert besteht aus 30 Einzelmessungen; ausgegeben werden dimensionslose Blattgrünwerte, die nach RUPP et al. (1999) sehr gut mit dem Chlorophyllgehalt der Blätter korrelieren.

Aminosäuren. Die Analyse der Aminosäuren erfolgte mittels HPLC. Die Methode wird bei PRIOR (1997) und BLESER (1999) detailliert beschrieben. Als Extraktionsmittel wurde Sulfosalicylsäure verwendet, zur Derivatisierung wurde Dansyl-Chlorid benutzt. Die HPLC-Anlage der Firma Spectra Physics arbeitet mit einem ternären Gradientensystem; als Detektor kam ein Fluoreszenzdetektor vom Typ Jasco 820 FP zum Einsatz.

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 (AAS). Der Gehalt an Gesamtstickstoff sowie Phosphor wurde photometrisch mittels Fließinjektionsanalyse bestimmt, und Kalium sowie Calcium wurden am Flammenphotometer gemessen.

Chemische Bodenparameter. Die Bodenproben wurden mit Hilfe der CAL-Methode auf Phosphor, Kalium und Magnesium untersucht. Zur Bestimmung

des N_{min} wurde die Probe mittels CaCl₂-Lösung extrahiert. Die Gehalte an Phosphor und Nitrat wurden anschließend mittels FIA bestimmt, die Kaliumbestimmung erfolgte flammenphotometrisch, und Magnesium wurde mittels AAS erfasst. Die organische Substanz wurde durch eine konduktometrische Kohlenstoff- und Stickstoffbestimmung sowie die CO₂-Bestimmung (nach Scheibler) erfasst. Die Umrechnung vom Kohlenstoffgehalt auf den Humusgehalt erfolgte mit dem Faktor 1,724. Sämtliche Methoden sind bei SCHALLER (2000) beschrieben.

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 weiterhin eine zweifache ANOVA durchgeführt. Der Varianzanteil der Faktoren Jahrgang und Düngung an der Gesamtstreuung wurde mit der Anteilsziffer berechnet (Quotient aus der Summe der Abweichungsquadrate des Faktors und der Abweichungsquadrate insgesamt bei der zweifaktoriellen ANOVA).

Ergebnisse und Diskussion

Boden

Das Stickstoffangebot kann nicht direkt an den kontinuierlichen Stickstoffgaben von 0 bis 150 kg N/ha festgemacht werden. Der N_{min}-Gehalt gibt darüber differenziert Auskunft. Es konnte gezeigt werden, dass insbesondere die beiden hoch gedüngten Varianten (90 bzw. 150 kg N/ha) in vielen Jahren im Nitratangebot (NO₃) gleich hoch lagen, obwohl sie sich in der Düngung um 60 kg Stickstoff unterschieden. Auch die mit jährlich 30 kg N/ha gedüngte Variante wies häufig ein höheres und vor allem früheres Stickstoffangebot im Vergleich zur 60 kg N/ha-Variante auf (Abb. 1). Das frühere Maximum erklärt sich mit der Düngung zum Austrieb der 30 kg N/ha-Variante entgegen dem Nachblütetermin für die 60 kg N/ha-Variante. Auch in der Summe wurde in der 30 kg N/ha-Variante gleich viel N_{min} im Boden festgestellt wie in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante. Zum Teil lässt sich dies mit den höheren Humusgehalten in der 90 kg N/ha und vor allem der 30 kg N/ha-Variante erklären (Tab. 3). Die Unterschiede sind aber zu gering, um als alleinige Ursache dafür in Frage zu kommen, so dass auch von höheren

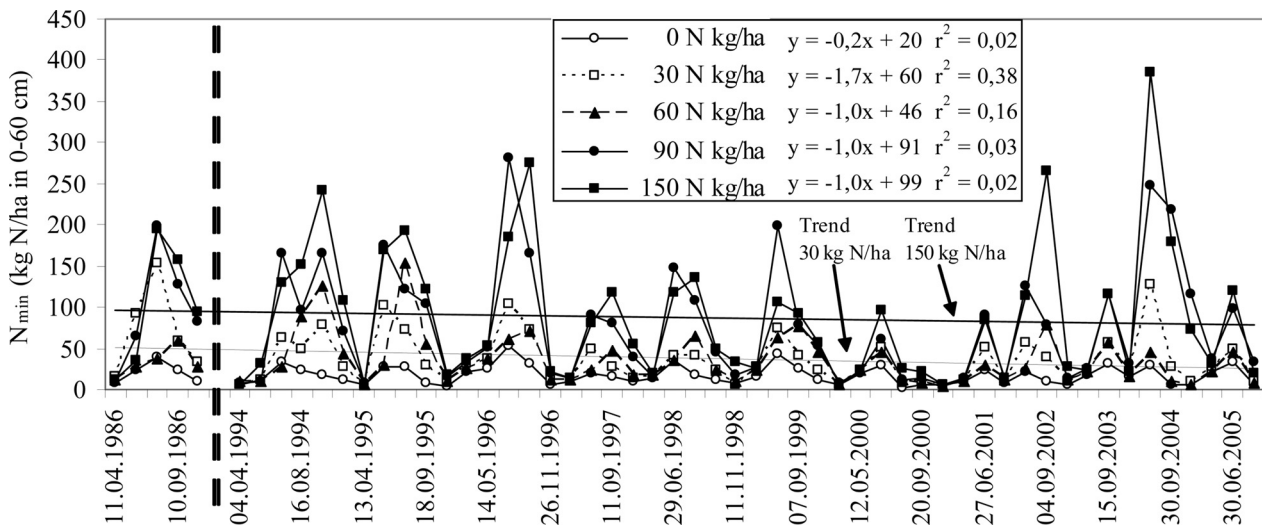


Abb. 1: N_{\min} (kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha in 0-60 cm Bodentiefe) im Mittel der 4 Parzellen der N-Düngung (0-150 kg N/ha) zu Versuchsbeginn und im Jahresverlauf 1994-2005. Die Regressionsformel (x = Jahr seit Versuchsbeginn, y = N_{\min} -Jahresmittel) und Bestimmtheitsmaß sind in der Legende angegeben. Regressionsgeraden sind exemplarisch für die 30 kg N/ha- und 150 kg N/ha-Varianten eingezeichnet.

Mineralisierungsraten in den Varianten 30 bzw. 90 kg N/ha ausgegangen werden kann. Auch NEYROUD und PARISOD (1983) fanden keine enge Beziehung zwischen gedüngten Stickstoffmengen und dem resultierenden $\text{NO}_3\text{-N}$ -Angebot im Boden. Zur Lese waren in den hoch gedüngten Varianten Nitratmengen von i.d.R. 70 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha, im Extremfall auch einmal 125 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha im Boden vorhanden. Diese Mengen sind durch die Winterniederschläge natürlich sehr auswaschungsfähig. MÜLLER (1999) fand in einem Langzeit-Stickstoffsteigerungsversuch bei offenem Boden schon bei jährlich 40 kg N/ha i.d.R. über 100 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha im Spätherbst. Bei 80 kg N/ha wurden sogar bis zu 600 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha gefunden. Selbst in ganzflächig begrünter Anlagen wurden von MÜLLER (1999) bei einer jährlichen Düngung von 80 kg N/ha über 400 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha im Spätherbst gefunden.

Bei dem vorliegenden Versuch fand kein Aufschaukeln des Stickstoffgehalts in den hoch gedüngten Varianten statt; im Gegenteil: Es fand sich ein leichter Trend zur abnehmenden Stickstoffnachlieferung in allen Düngungsvarianten (Abb. 1). Diese Verarmung schien am stärksten in der 30 kg N/ha-Variante, was allerdings auf das ursprünglich hohe N_{\min} -Niveau in dieser Variante zurückzuführen ist. Der Humusgehalt in den offenen gehaltenen Reihen ist in Tabelle 3 dargestellt. Es wurde eine leichte, messtechnisch bedingte Erhöhung des Humusgehalts im Versuchsverlauf festgestellt. Im

Mittel des randomisierten Versuchs war der Humusgehalt in der 30 kg N/ha-Variante schon zu Versuchsbeginn erhöht. Im Versuchsverlauf ergaben sich keine weiteren Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten. In den begrünter Reihen wurden zu Versuchsende Humusgehalte von durchschnittlich 4,0% gefunden; ein Unterschied zwischen den Düngungsvarianten bildete sich nicht heraus.

Vegetatives Wachstum

Die ungedüngten Versuchspartellen waren schon visuell von den gedüngten Varianten zu unterscheiden. Der Wuchs in der ungedüngten Variante war wesentlich schwächer, die Triebe dünner, der Anteil der Kümmertriebe höher, und die Blätter waren kleiner und heller. Dieser Rückgang des vegetativen Wachstums setzte vier Jahre nach Versuchsbeginn ein; im weiteren Versuchsverlauf ging der Wuchs in der ungedüngten Variante noch weiter zurück und blieb dann in den letzten acht Jahren stabil auf niedrigem Niveau (Tab. 4). Schon 1990 waren die Blätter aus der ungedüngten Variante signifikant um 5% kleiner. Die Blattfläche pro Blatt war in der Nullvariante im Jahr 1998 um 18% kleiner als in den gedüngten Varianten. Die kürzeren Internodien in der Nullvariante führten dazu, dass die entsprechenden Unterschiede in der Gesamtblattfläche (ohne Geiztriebe) nur noch 12% ausmachten. Innerhalb der gedüngten Varianten war kein Unterschied in der Blattflä-

Tab. 4: Parameter der vegetativen Leistung in den Düngungsvarianten. Nicht signifikante Unterschiede ($\alpha = 5\%$) zwischen den Düngestufen sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet. (¹GÖPFERT, 1993; ²EICHLER, 1991; ³PRIOR, 1997)

kg N/ha	Holzdurchmesser (cm)			Blattfläche/Blatt (cm ²)			Schnittholz (kg FS/ar)		N-Tester 1996-1999
	1991 ¹	1999	2006	1990 ²	1998	2006	1993 ³	1998	
0	0,78 a	0,91 a	0,75 a	146 a	147 a	171 a	16 a	17 a	417 a
30	0,85 a	0,95 ab	0,83 bc	-	178 ab	186 b	18 ab	21 b	469 b
60	0,86 a	1,02 b	0,78 ab	-	182 b	187 b	22 b	22 b	494 b
90	0,82 a	1,00 b	0,83 bc	157 b	177 ab	216 c	23 b	21 b	512 c
150	0,80 a	1,02 b	0,85 c	152 b	182 b	212 c	20 ab	21 b	525 c

che festzustellen. Im Jahr 2006, nach nun zwanzigjähriger Versuchsdauer, war die durchschnittliche Blattgröße in der ungedüngten Variante um 20% kleiner als in den hoch gedüngten Varianten (90 bzw. 150 kg N/ha), aber lediglich um 10% kleiner im Vergleich zu den moderat gedüngten 30 bzw. 60 kg N/ha-Varianten. Aktuelle Vermessungen der gesamten Laubwanddicke mittels bildgebendem Verfahren zeigten keine Unterschiede zwischen den Varianten (ADAMS, 2006). Überlappungen der Blätter wurden dabei aber nicht erfasst. Geringere Laubwanddicke bei unterlassener Stickstoffdüngung wurde ebenfalls von MÜLLER (1986b) und BELL (1991) festgestellt.

Die Triebdicke des einjährigen Schnittholzes zeigte ebenfalls keine nachlassende Wuchsminderung unter das schon 1999 gefundene Niveau (um 9% dünnere Triebe in der Nullvariante als in den gedüngten Varianten). Im Mittel waren in den 30 und 60 kg N/ha-Varianten die Triebe gegenüber den 90 und 150 kg N/ha-Varianten tendenziell dünner, 2006 unterschieden sich aber die mit 30 kg N/ha gedüngten Reben nicht von den hoch gedüngten Reben in ihrer Triebdicke. Die Schnittholzgewichte wurden in den letzten Versuchsjahren nicht erfasst; im mehrjährigen Durchschnitt lagen die Schnittholzgewichte in der ungedüngten Variante um 20 bis 25% unter den gedüngten Varianten (Ergebnisse nicht dargestellt). Die 30 kg N/ha-Variante lag mit 5% niedrigerem Schnittholzgewicht nur leicht unter dem Durchschnitt der übrigen gedüngten Varianten. Eine weitere Differenzierung zwischen den gedüngten Varianten war nicht möglich. Von 1993 bis 1998 konnte kein weiteres Absinken des Wuchses in der Nullvariante festgestellt werden. Auch bei anderen langjährigen Versuchen wurde dieser positive Einfluss der Stickstoffdüngung auf das Schnittholzgewicht festgestellt (MÜLLER, 1986b; KANNENBERG, 1992; SPAYD et al. 1993; CONRADIE 2001a).

Nach zehn Versuchsjahren unterschied sich die Kontrolle visuell durch die helleren Blätter, die gedüngten Varianten waren zu diesem Zeitpunkt nicht unter-

scheidbar. Im weiteren Versuchsverlauf zeigten die mit 30 bzw. 60 kg N/ha gedüngten Varianten zunehmend hellere Blattfarben gegenüber den hoch gedüngten Varianten. Dies konnte mit Hilfe photometrischer Chlorophyllbestimmungen (N-Tester) messtechnisch abgesichert werden. Mit zunehmender Stickstoffversorgung wurden zunehmende N-Tester-Werte sowie damit einhergehend dunklere Blätter gefunden. Dies wird anhand der Ergebnisse von SEITER (2000) in einem dreijährigen Versuch bestätigt. Allerdings trat dieser Effekt bei SEITER (2000) lediglich bei niedrigem Humusgehalt im Boden auf. Dies steht in Übereinstimmung mit der Beobachtung, dass in dem vorliegenden Versuch die Differenzierung im Wuchs erst nach einer langjährig unterschiedlichen Stickstoffdüngung erfolgte. Weiters korrelierte der N-Tester-Wert mit dem Stickstoffgehalt der Blätter. Dies wird durch die Ergebnisse der Stickstoffsteigerungsversuche von SEITER (2000) bestätigt. FOX und RUPP (1998) fanden zudem enge Korrelationen zwischen dem mit dem N-Tester gemessenen Chlorophyllgehalt der Blätter und dem Wuchsverhalten der Reben. Es konnte beobachtet werden, dass die Blätter aus der Nullvariante eine frühere Herbstverfärbung aufwiesen. Diese schnellere Blattalterung bei Stickstoffmangel haben neben FOX (1995) auch SCIENZA und DÜRING (1980) schon beschrieben, die außerdem auch höhere Konzentrationen an Abscisinsäure in den Blättern fanden.

Blutungssaft

Die täglich abgegebene Menge an Blutungssaft (BLS) betrug durchschnittlich zwischen 4 und 30 ml. Dabei unterlag diese Menge einer starken Dynamik im Versuchsverlauf (Abb. 2). Die Unterschiede in der BLS-Menge zwischen den Düngestufen korrelierten nicht mit den Stickstoffgaben: Sowohl die ungedüngte Variante wie auch die hoch gedüngte 150 kg N/ha-Variante wiesen z.B. im Jahr 1997 die niedrigsten BLS-Mengen auf. Für den Verlauf und die Intensität der Blutung ist nach ALLEWELDT (1965) die Temperatur bzw.

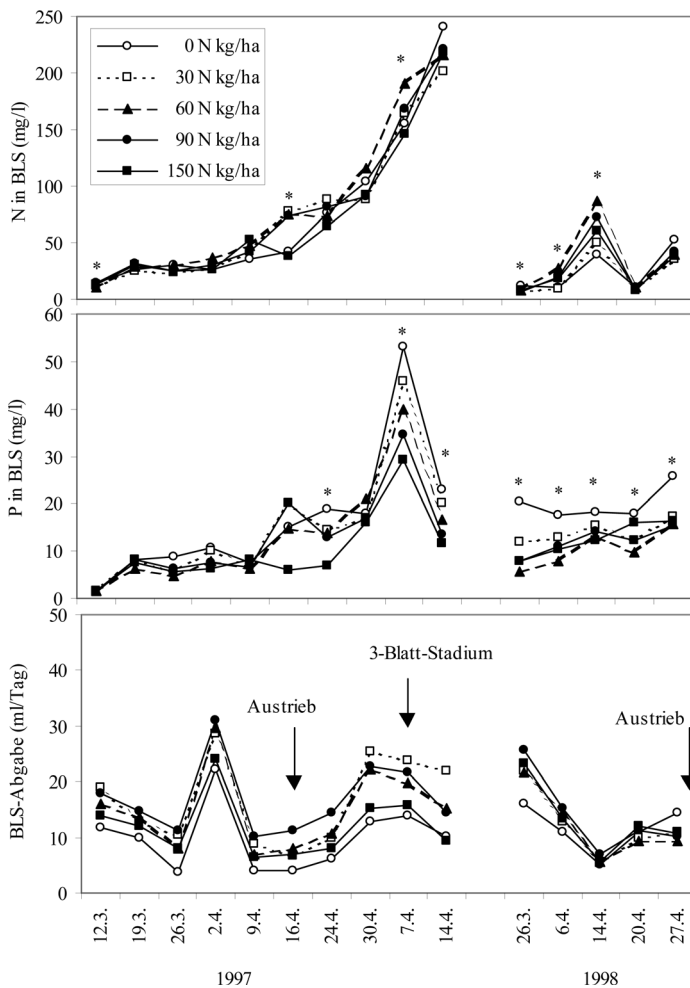


Abb. 2: Täglich abgegebene Menge an Blutungssaft und Konzentration an N und P im Blutungssaft. Unterschieden sich die Konzentrationen zwischen den Düngevarianten an einem Termin signifikant, so wurde dies mit * gekennzeichnet.

die Tag-Nacht-Temperaturamplitude verantwortlich. Dies kann mit diesem Versuch nicht bestätigt werden; insbesondere die hohe Blutungsmenge 1997 zwei Wochen vor dem Austrieb wurde bei unveränderten Temperaturbedingungen gefunden (Ergebnisse nicht dargestellt). Die Konzentration der Makronährstoffe im BLS nimmt in der Regel erst mit dem Austrieb deutlich zu. Davor ließen sich steigende Konzentrationen an Stickstoff, Phosphor und Kalium feststellen. Bei den Mikronährstoffen (Fe, Zn, Mn, Cu) ließ sich kein eindeutiger Trend erkennen (Abb. 3). Als einziger Nährstoff reagierte Phosphor eindeutig auf die langjährige Stickstoffdüngung: Die Stickstoffdüngung führte zu

niedrigeren Phosphorkonzentrationen im BLS. Während 1997 allerdings erst drei Wochen nach dem Austrieb eine Differenzierung der Phosphorkonzentration festgestellt werden konnte, war dies 1998 schon ab Versuchsbeginn (sechs Wochen vor Austrieb) feststellbar (Abb. 2). Dagegen fand MERCKT (2002) bei einem Topfversuch an zweijährigen Reben mit steigenden Stickstoffdüngungen zunehmend höhere Stickstoffkonzentrationen im BLS und keine Beeinflussung der Phosphorkonzentration. WEISSENBACH et al. (1993) fanden gute Übereinstimmungen zwischen dem Nitratgehalt im Boden und im BLS. Eine gute Korrelation zwischen Gehalt an $\text{NO}_3\text{-N}$ im Boden und der Stickstoffkonzentration im BLS konnte in diesem Versuch lediglich im Jahr 1997 (eine Woche vor dem Austrieb) festgestellt werden. Mit Beginn des Austriebs war dieser Zusammenhang nicht mehr gegeben, darf aber aufgrund der Mobilisierung der Stickstoffreserven aus dem Holz auch nicht mehr unbedingt erwartet werden. Zu den einzelnen Terminen war kein linearer Düngungseffekt auf die Stickstoffkonzentration auszumachen. Im Mittel nahm die Stickstoffkonzentration im BLS bis zu einer Düngung von 60 kg N/ha zu, höhere Stickstoffgaben führten allerdings wiederum zu absinkenden Stickstoffkonzentrationen. Dies wurde durch die Fraktion der Aminosäuren im BLS hervorgerufen, für die der eben beschriebene Effekt in noch stärkerem Maße gefunden wurde (Abb. 4 und Abb. 5). Die Aminosäurenkonzentrationen nahmen 1997 eine Woche vor dem Austrieb enorm zu. Der Höhepunkt war in den gedüngten Varianten eine Woche nach dem Austrieb, in der ungedüngten Kontrolle wurde der Gipfel erst drei Wochen nach dem Austrieb beobachtet. 1998 war vor allem das völlige Absinken der Aminosäurenkonzentration (und auch des Gesamtstickstoffs) zwei Wochen vor dem Austrieb bemerkenswert. Der Düngungseinfluss auf die Gesamtaminosäurenkonzentration war 1997 bis auf die ersten beiden sowie den letzten Probenahmetermin signifikant; 1998 konnten lediglich die Unterschiede zum letzten Termin abgesichert werden. Das Aminosäurenspektrum wurde von Glutamin (Gln) dominiert. Dies wird durch verschiedene Arbeiten bestätigt (ROUBELAKIS-ANGELAKIS und KLIEWER, 1979; ALLEWELDT und MERCKT, 1993). Bis zum Austrieb bestand das Amino-

niedrigeren Phosphorkonzentrationen im BLS. Während 1997 allerdings erst drei Wochen nach dem Austrieb eine Differenzierung der Phosphorkonzentration festgestellt werden konnte, war dies 1998 schon ab Versuchsbeginn (sechs Wochen vor Austrieb) feststellbar (Abb. 2). Dagegen fand MERCKT (2002) bei einem Topfversuch an zweijährigen Reben mit steigenden Stickstoffdüngungen zunehmend höhere Stickstoffkonzentrationen im BLS und keine Beeinflussung der Phosphorkonzentration. WEISSENBACH et al. (1993) fanden gute Übereinstimmungen zwischen dem Nitratgehalt im Boden und im BLS. Eine gute Korrelation zwischen Gehalt an $\text{NO}_3\text{-N}$ im Boden und der Stickstoffkonzentration im BLS konnte in diesem Versuch lediglich im Jahr 1997 (eine Woche vor dem Austrieb) festgestellt werden. Mit Beginn des Austriebs war dieser Zusammenhang nicht mehr gegeben, darf aber aufgrund der Mobilisierung der Stickstoffreserven aus dem Holz auch nicht mehr unbedingt erwartet werden. Zu den einzelnen Terminen war kein linearer Düngungseffekt auf die Stickstoffkonzentration auszumachen. Im Mittel nahm die Stickstoffkonzentration im BLS bis zu einer Düngung von 60 kg N/ha zu, höhere Stickstoffgaben führten allerdings wiederum zu absinkenden Stickstoffkonzentrationen. Dies wurde durch die Fraktion der Aminosäuren im BLS hervorgerufen, für die der eben beschriebene Effekt in noch stärkerem Maße gefunden wurde (Abb. 4 und Abb. 5). Die Aminosäurenkonzentrationen nahmen 1997 eine Woche vor dem Austrieb enorm zu. Der Höhepunkt war in den gedüngten Varianten eine Woche nach dem Austrieb, in der ungedüngten Kontrolle wurde der Gipfel erst drei Wochen nach dem Austrieb beobachtet. 1998 war vor allem das völlige Absinken der Aminosäurenkonzentration (und auch des Gesamtstickstoffs) zwei Wochen vor dem Austrieb bemerkenswert. Der Düngungseinfluss auf die Gesamtaminosäurenkonzentration war 1997 bis auf die ersten beiden sowie den letzten Probenahmetermin signifikant; 1998 konnten lediglich die Unterschiede zum letzten Termin abgesichert werden. Das Aminosäurenspektrum wurde von Glutamin (Gln) dominiert. Dies wird durch verschiedene Arbeiten bestätigt (ROUBELAKIS-ANGELAKIS und KLIEWER, 1979; ALLEWELDT und MERCKT, 1993). Bis zum Austrieb bestand das Amino-

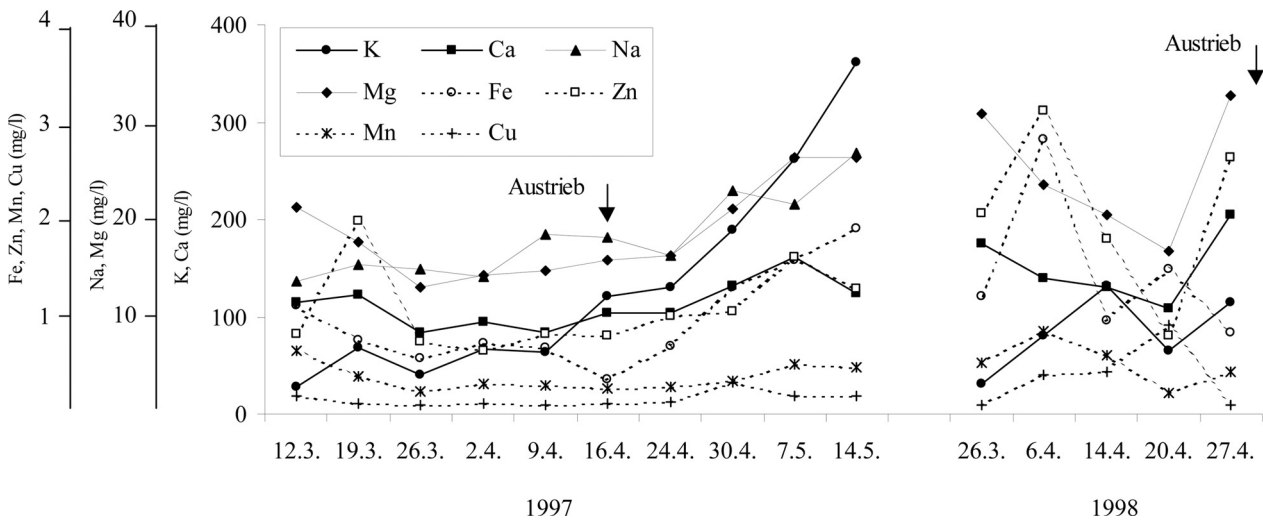


Abb. 3: Mittlere Konzentration an Mineralstoffen im Blutungssaft.

säurenspektrum 1997 zu 95% aus Glutamin, danach sank der Anteil auf durchschnittlich 10 bis 70% vier Wochen nach dem Austrieb. 1998 lag der Anteil an Glutamin schon eine Woche vor dem Austrieb nur bei 75%. Das Spektrum der gefundenen Aminosäuren bestand eine Woche nach dem Austrieb weiterhin aus Glutaminsäure, Asparaginsäure, γ -Aminobuttersäure, Prolin, Valin, Serin und Threonin, welche zusammen 15% der im Blutungssaft gefundenen Aminosäuren ausmachten. Zum Ende der Probennahme waren neben Glutaminsäure die Aminosäuren Glutamin und Citrullin dominierend. Serin, Valin, Alanin und Asparaginsäure wiesen zusammen einen Anteil von 2% aus. Die Düngung bis 90 kg N/ha erhöhte die Aminosäuren-N-Konzentration; eine sehr hohe Düngergabe (150

kg N/ha) resultierte in ähnlich niedriger Aminosäuren-N-Konzentration wie in der ungedüngten Variante. Die 60 kg N/ha-Variante wies mit durchschnittlich 69 mg N/l den höchsten Wert, Nullvariante und hoch gedüngte Variante mit 44 bzw. 46 mg N/l den niedrigsten Wert auf (Abb. 5). Bezogen auf die einzelne Pflanze ist dieser Effekt sogar noch stärker. Die unterdurchschnittlich niedrigen Mengen an BLS im Versuchsjahr 1997 ergaben in der Nullvariante und der 150 kg N/ha-Variante 50 mg N/Pflanze und in den übrigen Varianten 100 mg N/Pflanze. Die Mobilisierungsleistung von Stickstoff aus dem Holzkörper beim Austrieb der Rebe folgte damit einer Optimumskurve (Abb. 4). Bei Stickstoffmangel wurden weniger Aminosäuren mobilisiert als bei langfristig moderater Düngung, bei hohen bzw. sehr hohen Stickstoffgaben wurden wiederum geringere Mengen Aminosäuren mobilisiert. Ein vergleichbares Ergebnis konnte auch in einem Topfversuch anhand markierten Stickstoffs (N^{15}) festgestellt werden, wobei diese Optimumskurve von der Bodenlösung und nicht von den Stickstoffreservemengen im Holz induziert wurde (LINSENMEIER, 1995). Die höhere Phosphorkonzentration im BLS bei den ungedüngten Varianten lässt sich auf die pH-Erhöhung in der Rhizosphäre aufgrund der Nitraternährung zurückführen. CONRADIE und SAAYMAN (1989) erklärten mit diesem Effekt die von ihnen festgestellten höheren Phosphorkonzentrationen in Blattstielen bei Stickstoffmangel. Zudem wurde in der Nullvariante auch eine stärkere Mykorrhizierung festgestellt (Ergebnisse nicht dargestellt), welche ebenfalls die Phosphoraufnahme günstig beeinflusst (MENGEL, 1991; GEORGE et al., 1994). BELL (1991)

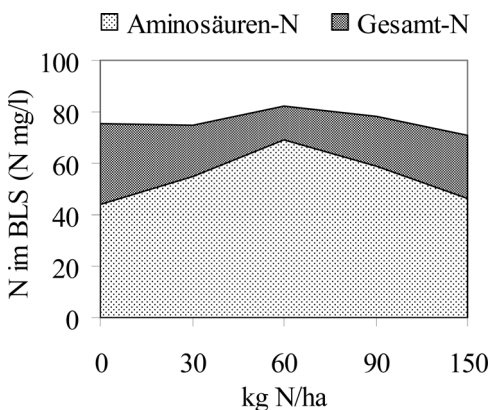


Abb. 4: Durchschnittliche Konzentration an Aminosäuren und Gesamt-Stickstoff bezogen auf den gesamten Versuchszeitraum 1997.

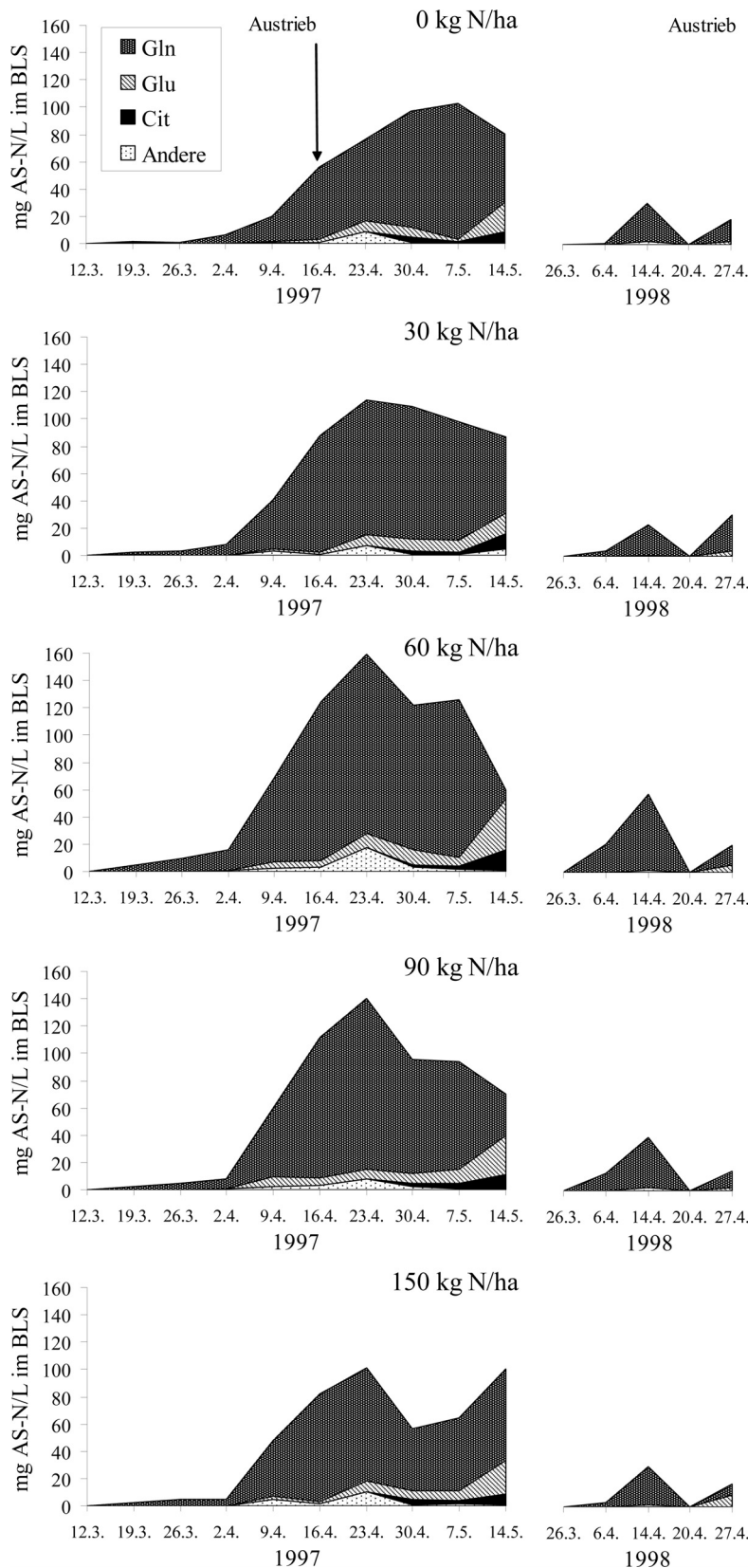


Abb. 5: Verteilung und Konzentration der Aminosäuren im Blutungssaft 1997 und 1998.

erklärt den Düngungseffekt auf die Phosphorkonzentration im Blattstiel mit unspezifischen Wechselwirkungen; das stärkere Angebot an Stickstoff führt zu einem verstärkten Wachstum und somit zu einem Verdünnungseffekt auf Phosphor. Dies erklärt aber im vorliegenden Fall nicht die Unterschiede schon lange vor Beginn des Austriebs; zudem müsste ein ähnlich starker Effekt auch die übrigen Mineralstoffe betreffen, was hier nicht der Fall war.

Pflanzenanalyse

Mit zunehmender Stickstoffdüngung nahmen die Stickstoffeinlagerung in das Holz zu und die Phosphoreinlagerung ab (Tab. 5). Im Mittel lag der Stickstoffgehalt in der Nullvariante um 10% unter dem der 60 kg N/ha und 15% unter dem der 150 kg N/ha-Variante. Gegenüber der ungedüngten Variante lagen die Phosphorkonzentrationen aus der 60 kg N/ha-Variante um durchschnittlich 15% und die der hoch gedüngten 90 bzw. 150 kg N/ha-Varianten um 20% niedriger. Der Einfluss des Jahrgangs lag allerdings in derselben Größenordnung. Die übrigen Mineralstoffe zeigten keinen Düngungseinfluss. Auffällig war dagegen der Jahrgangseinfluss auf die Zinkkonzentrationen. Die Werte sanken von 70 mg/kg 1994 auf 40 bis 50 mg/kg in den Jahren 1998 und 1999. Die Kalium- bzw. Calciumkonzentrationen betrug durchschnittlich 0,7% in der Trockensubstanz, die Konzentration von Magnesium lag bei 0,1%. Eisen wurde im einjährigen Holz zu 50 mg/kg gefunden, Mangan zu 15 und Kupfer zu 8 mg/kg. BUCHER (1969) fand zunehmende Konzentrationen an Stickstoff, Phosphor und Kalium im Holz mit steigender Stickstoffdüngung. Einen Düngungseinfluss auf Calcium und Magnesium im Holz konnte BUCHER (1969)

Tab. 5: Konzentration an N und P im Holz (% in TS) \pm Standardfehler (n = 24) im Mittel der Versuchsjahre 1994-1999, 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

	kg N/ha	N (%)	P (%)
	0	0,57 \pm 0,022 a	0,12 \pm 0,004 c
	30	0,62 \pm 0,022 b	0,11 \pm 0,005 b
	60	0,63 \pm 0,023 bc	0,10 \pm 0,003 b
	90	0,66 \pm 0,021 cd	0,10 \pm 0,004 a
	150	0,67 \pm 0,021 d	0,10 \pm 0,003 a
VA	Jahrgang (J)	46,0***	31,0***
	Düngung (D)	18,5***	37,9***
	J x D	6,7	6,9

nicht feststellen.

Neben der ausgebildeten Blattfläche und der Konzentration an Chlorophyll veränderte sich auch die Einlagerung von Mineralstoffen in die Blätter je nach Stickstoffversorgung. Nahezu alle gemessenen Mineralstoffe im Blatt wurden sowohl vom Jahrgang als auch von der Stickstoffdüngung hoch signifikant beeinflusst (Tab. 6). Naturgemäß spielte der Stickstoff dabei eine vorherrschende Rolle. Die Blattanalyse ist aus diesen Gründen ein klassisches Hilfsmittel zur Bewertung der Stickstoffversorgung (BALÓ et al., 1975; MÜLLER und BUCHER, 1981; SCHALLER und LÖHNERTZ, 1985). Die An-

gaben zur Stickstoffkonzentration in Blättern zur Blüte bei optimal mit Stickstoff versorgten Reben reichen von 2,3 bis 2,8% (BERGMANN, 1993) bis zu 2,7 bis 3,3% (BALÓ et al., 1975). Im vorliegenden Versuch wurden nach 1995 zur Blüte bis auf 2004 in allen Jahren selbst von der Nullvariante 2,5% Stickstoff im Blatt erreicht (Abb. 6). Das Ausreißerjahr 1995 mit Stickstoffkonzentrationen im Blatt von im Mittel unter 2,5% selbst in der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante zeigt, dass eine sichere Diagnose der Stickstoffversorgung ohne Kenntnisse von Vergleichswerten schwierig ist. Die Blattanalyse ist damit nur unter eng umgrenzten Verhältnissen aussagefähig. Für einen direkten Vergleich verschiedener Varianten sind die Stickstoffkonzentrationen im Blatt dagegen gut geeignet. Die Streuung war aber immerhin so groß, dass sich nur in der Hälfte der Versuchsjahre die Nullvariante auch von allen gedüngten Varianten signifikant unterschied. Den Blattstickstoffwerten zufolge war die 30 kg N/ha-Variante in der Hälfte der Versuchsjahre zur Blüte besser mit Stickstoff versorgt als die 60 kg N/ha-Variante, die 90 kg N/ha-Variante sogar in allen Jahren besser als die 150 kg N/ha-Variante. Dies entspricht auch den im Boden gefundenen N_{\min} -Werten und den Humusgehalten. Die Bewertung der Stickstoffaufnahme der Rebe wird oftmals anhand des Mittelwertes zwischen Blattstickstoff zur Blüte und zum Reifebeginn (VANEK, 1978) bzw. zur Lese durchgeführt (BALÓ et al., 1975; MÜLLER,

Tab. 6: Konzentrationen der Mineralstoffe in der Trockensubstanz der Blätter zur abgehenden Blüte (Mittelwert 1990-2005) \pm Standardfehler (n = 48) 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 (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)
	0	2,58 \pm 0,04 a	0,31 \pm 0,01 d	1,24 \pm 0,02 c	0,17 \pm 0,00 a	1,75 \pm 0,03 bc
	30	2,84 \pm 0,04 c	0,25 \pm 0,00 c	1,24 \pm 0,02 c	0,19 \pm 0,01 b	1,82 \pm 0,03 c
	60	2,75 \pm 0,05 b	0,24 \pm 0,01 c	1,15 \pm 0,02 ab	0,19 \pm 0,00 b	1,76 \pm 0,03 b
	90	2,97 \pm 0,04 d	0,22 \pm 0,00 b	1,21 \pm 0,03 bc	0,19 \pm 0,01 b	1,71 \pm 0,03 ab
	150	2,91 \pm 0,05 d	0,21 \pm 0,00 a	1,11 \pm 0,03 a	0,21 \pm 0,01 c	1,69 \pm 0,03 a
VA	Jahrgang (J)	48,3***	42,1***	9,0*	16,8***	35,9***
	Düngung (D)	19,8***	26,7***	8,1***	7,9***	5,0***
	J x D	5,0	9,0**	6,7	3,8	13,2

	N kg/ha	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
	0	77 \pm 2,7 b	86 \pm 6,3 b	40 \pm 1,7 ab	12 \pm 0,3 a
	30	71 \pm 1,9 a	83 \pm 6,2 ab	40 \pm 1,5 b	11 \pm 0,5 b
	60	72 \pm 2,1 ab	81 \pm 6,3 a	36 \pm 1,1 a	11 \pm 0,3 b
	90	69 \pm 1,9 a	81 \pm 5,9 ab	37 \pm 1,2 ab	10 \pm 0,4 bc
	150	70 \pm 2,0 a	80 \pm 6,1 a	39 \pm 1,8 ab	10 \pm 0,3 c
VA	Jahrgang (J)	47,2***	89,6***	57,7***	55,4***
	Düngung (D)	2,7*	0,3	1,3	5,5***
	J x D	5,1	1,5	1,0	0,9

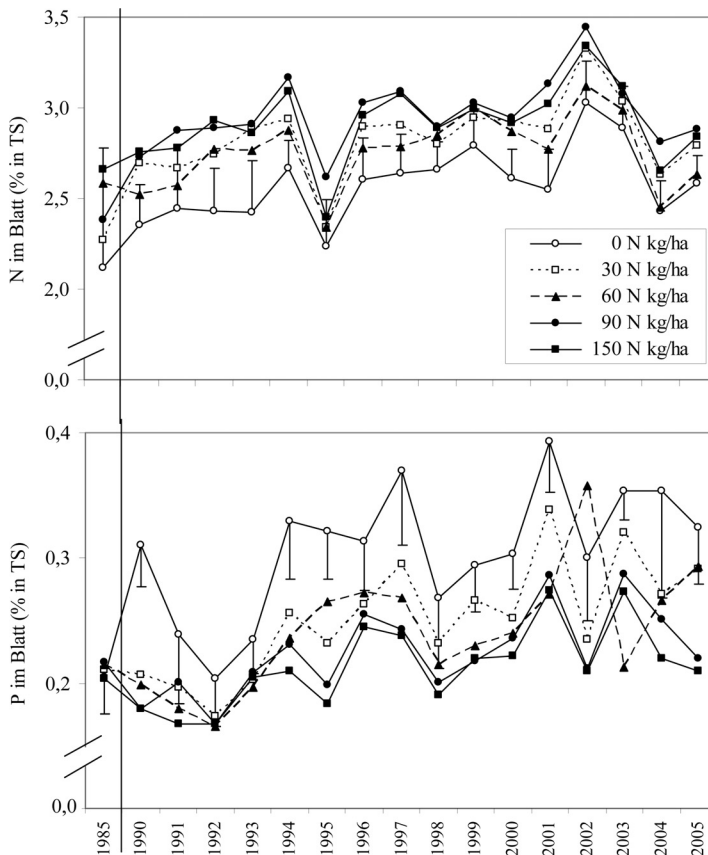


Abb. 6: Mittlere Konzentration (n = 4) an N und P im Blatt zur Blüte zu Versuchsbeginn 1985 sowie in den Jahren 1990-2005. Die GD 5% innerhalb der Jahrgänge sind mit Fehlerbalken dargestellt.

1988). Bei anderen Arbeiten wurde als einziger Probennahmetermin der Reifebeginn gewählt (RYSER, 1982). Nach MÜLLER und BUCHER (1981) lässt sich die Stickstoffversorgung besser am Verlauf der Stickstoffblattkonzentration von der Blüte bis zur Beerenreife erkennen. In Tabelle 7 ist die Stickstoffabnahme im Blatt nach der Blüte dargestellt. Im Schnitt ist diese Abnahme bis zum Reifebeginn in der Stickstoffmangelvariante größer. Im vorliegenden Versuch ließen sich allerdings weder die Varianten innerhalb der einzelnen Jahre anhand dieses Kriteriums differenzieren, noch waren die Abnahmen an Stickstoff in den verschiedenen Jahren einheitlich genug, um davon auf das Nachlieferungsvermögen des Bodens zu schließen. Die Abnahme der Stickstoffkonzentration im Blatt von der Blüte bis zur Lese war nicht von der Stickstoffdüngung

Tab. 7: Abnahme (negative Prozentpunkte) bzw. Zunahme an Mineralstoffen ± Standardfehler (n= 48) im Blatt von der Blüte bis zur Lese (bzw. bis Reifebeginn bei N) im Mittel der Jahre 1990-2005 (Cu¹: 1990-2001, Cu²: Zunahme infolge Pflanzenschutzmaßnahmen 2002-2005). Nicht signifikante Unterschiede (α = 5%) zwischen den Düngestufen sind mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet. Das Signifikanzniveau der Varianzanteile (VA in %) ist mit Sternen gekennzeichnet (*: α = 5%, **: α = 1%, ***: α = 0,1%)

	N kg/ha	N (%)		P (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)
		Reifebeginn	Lese				
	0	-0,74 ± 0,06 c	-0,94 ± 0,04 ab	-0,11 ± 0,01 bc	-0,35 ± 0,02 ab	0,04 ± 0,01 a	0,90 ± 0,09 ab
	30	-0,73 ± 0,07 bc	-0,99 ± 0,04 b	-0,12 ± 0,01 c	-0,37 ± 0,02 ab	0,04 ± 0,01 ab	0,96 ± 0,09 ab
	60	-0,67 ± 0,07 abc	-0,93 ± 0,04 ab	-0,11 ± 0,01 abc	-0,34 ± 0,02 a	0,05 ± 0,01 ab	1,00 ± 0,08 ab
	90	-0,69 ± 0,06 ab	-0,97 ± 0,04 b	-0,10 ± 0,01 ab	-0,36 ± 0,02 ab	0,04 ± 0,01 ab	1,00 ± 0,10 ab
	150	-0,64 ± 0,07 a	-0,91 ± 0,04 a	-0,09 ± 0,01 a	-0,39 ± 0,02 b	0,07 ± 0,01 b	1,10 ± 0,11 b
VA	Jahrgang (J)	58,7***	73,6***	40,1***	34,0***	26,2***	51,4***
	Düngung (D)	2,3**	1,0	3,0**	1,7	5,7**	2,6*
	J x D	7,5	4,0	11,0	6,7	4,3	9,6

	N kg/ha	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Lese	
				Mn (mg/kg)	
	0	-5,0 ± 5,3 b	21,0 ± 11,0 a	17,6 ± 4,7 b	0,9 ± 2,0 a
	30	-3,2 ± 3,9 ab	17,9 ± 12,1 a	17,1 ± 3,7 ab	-0,0 ± 1,9 a
	60	-5,5 ± 4,3 ab	16,4 ± 10,0 a	13,8 ± 3,2 a	-0,4 ± 1,3 a
	90	-3,5 ± 3,7 a	18,1 ± 13,2 a	17,1 ± 3,1 ab	-0,2 ± 1,5 a
	150	-5,3 ± 3,9 ab	14,2 ± 10,2 a	17,8 ± 3,1 b	0,8 ± 1,9 a
VA	Jahrgang (J)	52,8***	81,2***	77,5***	40,7***
	Düngung (D)	1,4	0,3	0,7	1,8
	J x D	7,8	3,9	2,4	12,1

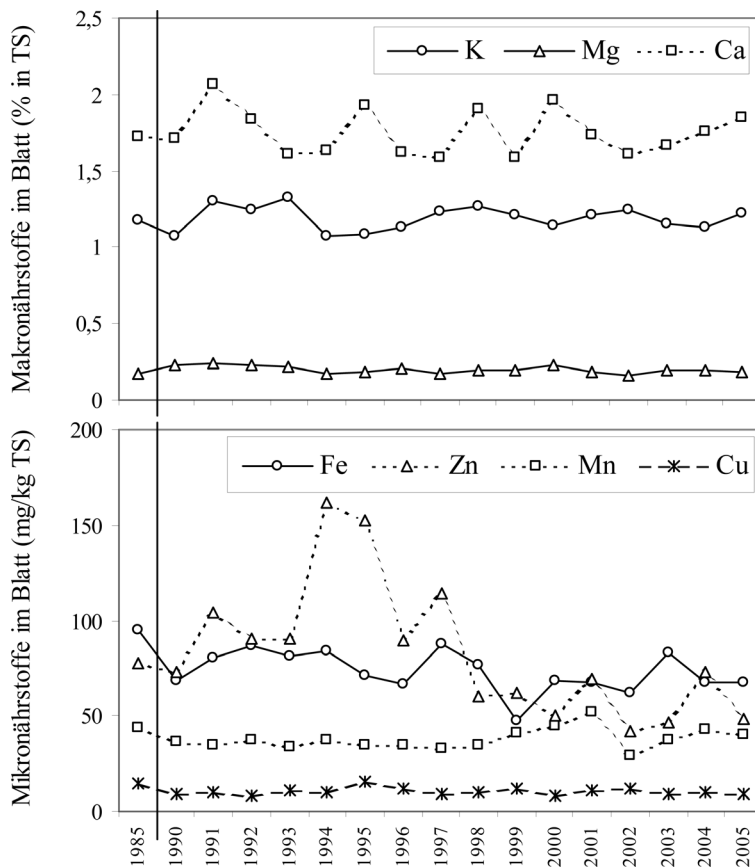


Abb. 7: Jahresmittelwerte der Mineralstoffkonzentration im Blatt zur Blüte zum Versuchsbeginn 1985 sowie von 1990-2005.

abhängig. Nach MÜLLER (1988) ist die Blattanalyse für Versuchszwecke von Bedeutung; einen Aussagewert der Blattanalyse für praktische Belange bei der Bemessung der Düngung sieht er dagegen nicht.

Die Konzentrationen der Mineralstoffe Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium, Eisen und Kupfer im Blatt zeigten ebenfalls eine signifikante Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung (Tab. 6). Während Magnesium wie Stickstoff mit höheren Blattkonzentrationen auf zunehmende Stickstoffdüngung reagierte, fanden sich bei Phosphor, Kalium, Calcium, Eisen und Kupfer die höchsten Konzentrationen in der Nullvariante. Tendenziell wurde dies auch für Zink und Mangan gefunden. Die Reaktion der Nährstoffkonzentration im Blatt wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben. MAIGRE (2002) stellte ebenfalls steigende Magnesiumkonzentrationen und sinkende Phosphorkonzentrationen mit steigender Stickstoffdüngung fest. Auch BRECHBÜHRECHBÜHLER und MEYER (1988) fanden für die Stick-

stoff- und Magnesiumkonzentrationen eine positive Korrelation mit der Stickstoffdüngung sowie sinkende Konzentrationen von Phosphor und Kalium; die Calciumkonzentration nahm dagegen in der Tendenz mit der Düngung zu. CONRADIE (2001b) stellte keine signifikanten Unterschiede für die Blattkonzentrationen an Phosphor und Kalium fest, für Calcium fand er infolge Stickstoffdüngung zunehmende, für Magnesium abnehmende Konzentrationen. BUCHER (1969) fand einen positiven Düngungseinfluss auf Stickstoff, Calcium, Mangan, keinen Einfluss auf Kalium und Magnesium und einen negativen Einfluss auf Phosphor. CONRADIE und SAAYMAN (1989b) fanden keinen Einfluss auf die Phosphor-, Kalium-, Calcium- und Magnesiumkonzentrationen im Blatt, die Konzentration von Phosphor im Blattstiel sank dagegen mit steigender Düngung. In dem vorliegenden Versuch reagierte die Phosphoreinlagerung besonders frappierend; hier war der Jahrgangseinfluss stark zurückgedrängt, der Einfluss der Düngung war größer noch als auf die Stickstoffkonzentration in den Blättern. Die Ursache für diesen starken Düngungseffekt auf die Phosphoreinlagerung ins Blatt wurde schon beim Blutungssaft diskutiert.

Nach RYSER (1982) liegen die Optimumwerte der Phosphorkonzentration im Blatt zum Reifebeginn bei 0,17 bis 0,19%, BALÓ et al. (1975) zufolge, als Mittelwert zwischen den Konzentrationen zur Blüte und zur Lese, bei 0,19 bis 0,24%. Die hier gefundenen Phosphorkonzentrationen lagen damit nach beiden Kriterien in den hoch gedüngten Varianten (90 bzw. 150 kg N/ha) im Mittel darunter. Die mit 30 bzw. 60 kg N/ha gedüngten Varianten lagen nach den Werten von BALÓ et al. (1975) und RYSER (1982) im Optimum. In der ungedüngten Variante lag die Phosphorkonzentration im Blatt in vielen Jahren deutlich höher, in einigen Jahren aber auch niedriger. Die Kaliumkonzentrationen lagen nach BALÓ et al. (1975) in allen Varianten unterhalb des Optimums (1,2 bis 1,4% im Mittel), dies gilt ebenso, wenn die Maßstäbe von RYSER (1982) zugrunde gelegt werden (Optimum: 1,6 bis 1,9% zu Reifebeginn). Die Magnesiumkonzentrationen schwankten im Laufe der Jahre wenig und lagen bei den gedüngten Varianten

im optimalen Bereich von 0,2 bis 0,3% (BALÓ et al., 1975), bei den ungedüngten Variante darunter. Die Calciumkonzentrationen lagen im Durchschnitt in allen Varianten im Optimum nach RYSER (1982) von 2,4 bis 2,7% Calcium zum Reifenbeginn.

Die optimalen Konzentrationen an Mikronährstoffen im Blatt zwischen Blüte und Lese werden von VANEK (1978) folgendermaßen angegeben: Fe: 100 bis 1000 mg/kg TS, Zn: 25 bis 60 mg/kg TS, Mn: 30 bis 300 mg/kg TS, Cu: 10 bis 20 mg/kg TS. Die Eisenkonzentrationen lagen demnach in allen Varianten etwas unterhalb des Optimums, Kupfer und Mangan lagen im Optimum, und Zink lag vor allem in der ersten Versuchshälfte deutlich darüber. Hierbei fällt der starke Zinkanstieg 1994 im Blatt auf, der im Folgenden deutlich unter die Werte zu Beginn des Versuches fiel.

Fazit

Auch nach 20 Jahren ohne Stickstoffdüngung erweist sich die vegetative Leistung von 'Riesling' als stabil. Voraussetzung dafür ist aber mit Sicherheit ein offener Boden zumindest in jeder zweiten Reihe. Die Vermutung liegt nahe, dass man mit einer derartigen Bewirtschaftung auf lange Sicht den sukzessiven Abbau des Humusvorrats im Boden riskiert. Aber selbst nach diesem langen Versuchszeitraum ließ sich ein Humusabbau nicht feststellen. Die Analyse der Blutungssäfte lässt den Schluss zu, dass die Reben bei Stickstoffmangel mit ihren Stickstoffreserven im Holz sparsamer umgehen. Die ungedüngte Variante und die gedüngten Varianten sind im Laufe der Zeit nicht auseinandergedriftet. Weder konnte beim N_{\min} ein Aufschaukeln der Werte in den hoch gedüngten Varianten festgestellt werden, noch eine Verarmung des Bodens in der niedrig (30 kg N/ha) und der ungedüngten Variante. Auch den Blattanalysen zufolge blieb die N-Versorgung der Reben stabil. Als sicheres Diagnosekriterium für die Stickstoffversorgung der Rebe ist der Absolutwert der Stickstoffkonzentration im Blatt nicht geeignet. Die jahrgangsbedingten Schwankungen sind hierfür zu groß.

Literatur

- ADAMS, S. (2006): Influence of nitrogen fertilization on fruitset of a quality grape vine (L. cv. Riesling). - Masterarbeit TU München-Weihenstephan, 2006
- ALLEWELDT, G. und MERCKT, N. 1993: Der Stickstoffexport der Wurzel und die Zusammensetzung des Xylemsudats. Teil 2: Einfluss der Pfropfung. Wein-Wiss. 48: 55-60
- ALLEWELDT, G. 1965: Über den Einfluß der Temperatur auf die Blutung der Rebe. Vitis 5: 10-16
- BALÓ, E., MÁRTA, O. und GYÖNGY, P. 1975: Die Rolle der Blattdüngung bei der Feststellung von Stickstoff-, Kali-, und Phosphorbedürfnissen der Weinanlagen. Weinberg und Keller 22: 423-439
- BELL, S.-J. (1991): The effect of nitrogen fertilization on growth, yield and juice composition of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon grapevines. Proc. Int. Symp. Nitrogen in Grapes and Wine, p. 206-210. - Seattle, 1991
- BERGMANN, W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen : Entstehung, visuelle und analytische Diagnose, 3. Aufl. - Jena und Stuttgart: Fischer, 1993
- 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, 1999 (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 Moste sowie auf die Aufnahme von Makro- und Mikronährstoffen durch die Rebe. Weinberg und Keller 16: 227-252
- CONRADIE, W.J. (1991): Translocation and storage of nitrogen by grapevines as affected by time of application. Proc. Int. Symp. Nitrogen in Grapes and Wine, p. 32-42. - Seattle, 1991
- 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. 1989: 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
- 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. Proc. Int. Symp. Nitrogen in Grapes and Wine, p. 242-248. - Seattle, 1991
- EICHLER, P. (1990): Mineralstoffgehalt der Blätter in Abhängigkeit vom Blattalter (nach Plastochronindex) und der N-Düngungsstufe. - Diplomarbeit FH Wiesbaden, Fachbereich Weinbau und Getränke-Technologie, Geisenheim, 1990
- FOX, R. 1995: Haben Bodenpflege und Stickstoffdüngung Einfluss auf die Weinqualität? Rebe & Wein 48: 87-91
- FOX, R. und RUPP, D. 1998: Neue Wege bei der Pflanzfeldvorbereitung : Auswirkungen auf Wuchs, Blatt-Chlorophyllgehalt sowie Holz-, und Ertragsleistung. Rebe & Wein 52: 290-294
- GEORGE, E., RÖMHELD, V. and MARSCHNER, H. (1994): Contribution of mycorrhizal fungi to micronutrient uptake by plants. In: MANTHEY, J.A., CROWLEY, D.E. and LUSTER, D.G. (Eds.): Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere, p. 93-109. - Boca Raton, FL: CRC Press, 1994
- GOPPERT, A. (1993): Auswirkungen einer differenzierten N-Düngung auf die Anreicherung N-haltiger Verbindungen sowie Mineralstoffen im ein- und zweijährigen Holz der Rebe, sowie eine Betrachtung der Einflüsse von Arginin und Gesamt-N in diesem Holz auf verschiedene Mostpa-

- parameter im Jahr 1991. - Diplomarbeit FH Wiesbaden, Fachbereich Weinbau und Getränketechnologie, Geisenheim, 1993
- 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. 1990: Langjährige Ergebnisse zur N-Düngung bei Gutedel. *Bad. Winzer* (5): 229-230 und (6): 268-270
- KANNENBERG, J. 1992: Einfluß langjähriger Stickstoffdüngung bei Reben unter Berücksichtigung von Boden-Rest-N_{min}-Gehalten. *Dt. Weinbau-Jahrb.* 42: 151-159
- LINSENMEIER, A. (1995): Einfluß einer unterschiedlichen Stickstoffdüngung auf Wurzelwachstum und Aufnahme von markiertem Stickstoff bei *Vitis* sp. - Diplomarbeit Justus-Liebig-Universität Gießen, 1995
- MAIGRE, D. 2002: Comportement du Pinot noir en présence d'enherbement et influence de la fumure azotée. 2. Résultats analytiques et organoleptiques. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 34: 239-240
- MENGEL, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7. Aufl. - Jena: Gustav Fischer, 1991
- MERKT, N. 2002: Einfluss der Wurzeltemperatur und Stickstoffversorgung auf die Stickstoffaufnahme und das Wachstum der Rebe. *Dt. Weinbau-Jahrb.* 53: 95-103
- MÜLLER, E. 1999: 15 Jahre Stickstoffdüngungsversuche : Erfahrungen und Konsequenzen. *Dt. Weinmagazin* (19): 27-31 und (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
- MÜLLER, K. 1988: Aussagewert der Blattanalyse für die Bemessung der jährlichen Düngung der Reben. *Mitt. Klosterneuburg* 38: 48-59
- MÜLLER, K. und BUCHER, R. 1981: Möglichkeiten des Einsatzes der N_{min}-Methode und der Blattanalyse zur Beurteilung des pflanzenverfügbaren Stickstoffes in Weinbergsböden - fünfjährige Versuchsergebnisse. *Wein-Wiss.* 36: 330-354
- NEYROUD, J.A. and PARISOD, J.F. 1983: Availability of mineral nitrogen to grapevines in relation to various fertiliser rates and cultural techniques. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 15: 367-371
- 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)
- ROUBELAKIS-ANGELAKIS, K.A. and KLIWER, W.M. 1979: The composition of bleeding sap from Thompson Seedless grapevines as effected by nitrogen fertilization. *Amer. J. Enol. Vitic.* 30: 14-18
- RUPP, D., TRÄNKLE, L. und FOX, R. 1999: Zerstörungsfreie Chlorophyllbestimmung bei Reben - Bewertung von Sorteneinflüssen und Probenahmeeffekten. *Mitt. Klosterneuburg* 49: 86-92
- RYSER, J.P. 1982: Vers l'utilisation pratique de diagnostic foliaire en viticulture et arboriculture. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 14: 49-54
- SCHALLER, K. (2000): Praktikum zur Bodenkunde und Pflanzenernährung. (Geisenheimer Berichte ; 2)
- SCHALLER, K. und LÖHNERTZ, O. 1985: Ermittlung des Ernährungszustandes von Reben nach der Blattanalyse - Ein umweltschonenderes Verfahren zur Feststellung des Düngebedürfnisses. *Wein-Wiss.* 6: 394-412
- SCHALLER, K., LÖHNERTZ, O., GEIBEN, R. und BREIT, B. 1989: N-Stoffwechsel von Reben. 1. Mitt.: N- und Arginindynamik im Holzkörper der Sorte Müller-Thurgau im Verlauf einer Vegetationsperiode. *Wein-Wiss.* 44: 91-101
- 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* L.) canopy-systems. *Sci. Hort.* 52: 179-200
- SCIENZA, A. and DÜRING, H. 1980: Nitrogen supply and water relations in grapevine. *Vitis* 19: 301-307
- 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. Albert-Ludwig-Univ. Freiburg im Breisgau, 2000
- 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
- SPAYD, S.E., WAMPLE, R.L., STEVENS, R.G., EVANS, R.G. and KAWAKAMI, A.K. 1993: Nitrogen fertilization of White Riesling grapes in Washington : Effect on petiole nutrient concentration, yield, yield components, and vegetative growth. *Am. J. Enol. Vitic.* 44: 378-386
- VANEK, G. 1978: Diagnostische Möglichkeiten von Rebenernährungsstörungen. Symptomatik und chemische Blattanalysen - die Blattdiagnostik. *Wein-Wiss.* 33: 15-35
- WEISSENBACH, P., HELLER, W.E. and PERRET, P. 1993: Analysis of bleeding sap of grapevines : a rapid and inexpensive method to determine mineralised nitrogen. *Wein-Wiss.* 48: 118-120

Manuskript eingelangt am 27. Oktober 2006