

Mikrobiologische Gesichtspunkte beim Traubentransport, im Keller und bei der Gärung

III. Die Bedeutung des assimilierbaren Stickstoffs für den Verlauf der alkoholischen Gärung am Beispiel südtiroler Moste und Maischen

Armin KOBLER
Versuchszentrum Laimburg, Südtirol

Zusammenfassung:

Moste und Maischen mehrerer in Südtirol angebauter Sorten wurden mit verschiedenen kommerziellen Reinzuchthefer-Präparaten vergoren, um die Gehalte an assimilierbarem Stickstoff mit dem Gärverhalten in Verbindung zu setzen. Verschiedene Ergebnisse aus weinbaulichen und kellerwirtschaftlichen Versuchen zeigen den Zusammenhang zwischen den Gärproblemen und dem Mangel an assimilierbarem Stickstoff auf. Die Bedeutung der eingesetzten Hefe, die weinbaulichen Maßnahmen zur Verbesserung der Ernährungssituation sowie der Einsatz von Gärsalzgaben werden bewertet und diskutiert.

Einleitung und Problemstellung:

Unerwünschte mikrobiologische Entwicklungen können von der Spontanflora im Weingarten ausgehen (D'AMBROSIO 1998) und, begünstigt durch bestimmte Transport-, Lager- und Verarbeitungsbedingungen (AURICH 1998), die Weinqualität stark beeinträchtigen. Der schnelle Beginn der Gärung durch die vom Kellerwirt erwünschte Hefe, ein zügiger Verlauf des Zuckerabbaus sowie eine nicht zu lange Ausgärphase sind deshalb wichtige Voraussetzungen, um diesen nicht immer ausreichend kontrollierten Einflüssen im Gärstadium wirkungsvoll zu begegnen.

Seit einigen Jahren wird aus verschiedenen Weinbaugebieten von zu langen oder gar steckengebliebenen Gärungen berichtet (BELY *et al.* 1990, DE IURE 1995, HENICK-KLING *et al.* 1996, LÖHNERTZ und RAUHUT 1997a, 1997b, INGLEDEW und KUNKEE 1985). Schon lange ist die Bedeutung der richtigen Hefeernährung für die Zuckerumsetzung der Hefen bekannt. Insbesondere die Rolle des Stickstoffs (N) im Hefemetabolismus wurde in vielen gärungstechnischen Arbeiten untersucht (dargestellt in BISSON 1991). Von den im Most befindlichen Stickstoffformen werden alle Most-Aminosäuren bis auf das nur in besonderen Situationen aufgenommene Prolin (DRAWERT und RAPP 1964, OUGH und STASHAK 1974, VERSINI *et al.* 1995), die niedermolekularen Peptide (CONTERNO und DELFINI 1994) sowie das Ammonium metabolisiert (THORNE 1949). Die Proteine sowie die Polypeptide höheren Molekulargewichts finden nicht Eingang in den N-Stoffwechsel der Hefen, da ihre Ausstattung an proteolytischen Enzymen (FEUILLAT 1980) im Mostmilieu nicht genügend zum Tragen kommt.

Zur Quantifizierung des an Aminosäuren gebundenen Stickstoffs (free alpha-amino nitrogen, FAN) wurde in der Brauindustrie die photometrische Ninhydrinmethode entwickelt (LIE 1973), der Ammonium-Stickstoff läßt sich enzymatisch (BOEHRINGER 1987) oder mit einer spezifischen Elektrode ermitteln (MCWILLIAM und OUGH 1974). Der hefeverwertbare N kann auch mittels Formoltitration (DE IURE 1995) bestimmt werden, die Toxizität der Reagenzien schließt dieses Verfahren als Routinemethode aber aus (CORRADIN 1997).

AGENBACH (1977) fand in seinen vielzitierten Untersuchungen eine enge Korrelation zwischen dem FAN-Wert der Mostes, der Hefezellmasse sowie der Gärgeschwindigkeit. 130 mg aminosäuregebundener Stickstoff/L sind demnach notwendig, um bei 25°C die einwandfreie Gärung eines Mostes von 200 bis 230 g Zucker/L zu gewährleisten.

Seit diesen grundlegenden Arbeiten fand die Messung des hefeverwertbaren Stickstoffs (ass. N) vielfach Verwendung:

- um den Zusammenhang zwischen dem Trauben-N und den Gärproblemen besser zu beleuchten und den Einfluß kellerwirtschaftlicher Maßnahmen auf den N-Gehalt der Moste zu bewerten (AERNY 1996, AYESTERÁN *et al.* 1995, BELY *et al.* 1990, HENICK-KLING *et al.* 1996, INGLEDEW und KUNKEE 1985, LORENZINI 1996, SABLAYROLLES *et al.* 1996, SALMON 1989),
- verschiedene Hefestämme bezüglich ihren Aminosäuren- und Ammoniumanforderungen zu charakterisieren (JIRANEK *et al.* 1991, 1995) sowie
- den Einfluß weinbaulicher Maßnahmen auf die Gäreigenschaften der Moste und die sensorischen Merkmale der Weine zu erklären (BERTAMINI und MALOSSINI 1998, GOLDSPIK und FRAYNE 1993, MAIGRE *et al.* 1995, PRIOR 1997, OUGH *et al.* 1968, SPAYD *et al.* 1995).

In dieser Arbeit wird untersucht, inwiefern die von CORRADIN (1997) modifizierte Ninhydrin-Methode geeignet ist, das Gärverhalten südtiroler Moste und Maischen zu charakterisieren. In der Folge soll abgeklärt werden, ab welchen Werten an assimilierbarem Stickstoff mit Gärschwierigkeiten zu rechnen ist, und welche önologische Verfahren kurzfristig und weinbaulichen Kulturmaßnahmen längerfristig das Problem der zu langen oder unvollständigen Gärungen lösen können.

Material und Methode:

Beeren- und Traubenproben verschiedener weißer und roter in Südtirol angebauter Rebsorten wurden verarbeitet.

Die Partien des Jahres 1997 stammten aus bezüglich der Rebernahrung deutlich unterscheidbaren Lagen sowie aus Dünge- und Bodenpflege-Versuchspartellen (RAIFER und KOBLER 1998), wodurch eine breite Streuung der Mostzusammensetzungen gewährleistet war.

Die Versuchsvergärungen 1996 sind Teilergebnisse einer Versuchsreihe, welche den Einfluß prefermentativer Techniken auf die Gäreigenschaften und die Weinqualität zum Inhalt hat (KOBLER 1998).

Um die Kinetik der Gärung zu beschreiben, wurden Gärleistungstests angestellt. Im Falle der Weißweinbereitung wurden dabei die mittels pneumatischer Presse gewonnenen, mit 30 mg/L SO₂ geschwefelten und 18 bis 24 Stunden statisch entschleimten Moste in 0,5-L-Flaschen vergoren. Die Beimpfung erfolgte mit der von den Reinzuchtheferherstellern empfohlenen Dosierung, die Gärung fand, falls nicht anders erwähnt, im Klimaschrank bei 24°C statt. Der täglich ermittelte Netto-Gewichtsverlust diente als Gradmesser der Gäraktivität. Das Ende der Gärung wurde graphisch und unter Zuhilfenahme des Restzuckergehaltes ermittelt. Die Maischegärung erfolgte in Weithalsbehältern der gleichen Größe, wobei darauf geachtet wurde, daß das Flüssigkeits/Feststoff-Verhältnis annähernd den Praxisbedingungen entsprach. Am Gärende wurde der effektive Schalen- und Kerneanteil durch Trocknung und nachfolgender Wägung bestimmt und dem Leergewicht zugerechnet.

Das Mostgewicht wurde refraktometrisch (TANNER und BRUNNER 1979) gemessen, der Restzuckergehalt mittels halbautomatischem Titrator (STEFANI und TONON 1993) bestimmt. Die Quantifizierung des hefeverfügbaren freien Aminostickstoffs erfolgte photometrisch mit der von CORRADIN (1997) abgeänderten EBC-Methode (LIE 1973).

Die Berechnung und Darstellung der Gärverläufe erfolgte mit Hilfe der Computerprogramme MICROSOFT® EXCEL 97 und MICROSOFT® POWERPOINT 97®. Für die statistische Verrechnung der Daten wurde das Statistik-Paket SPSS® 6.0 verwendet.

Ergebnisse und Diskussion:

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, beeinflusst der Gehalt an assimilierbarem Stickstoff die Zuckerumsetzung im Stadium der stürmischen Gärung. So ermöglichen Gehalte von 160 und mehr mg ass. N/L Vergärungsraten pro Tag, die ein Viertel des Anfangszuckergehaltes betragen, während N-Gehalte unter 80 mg/L nur mehr maximale Abnahmen von 15% zuließen.

AGENBACH (1977) sowie BELY *et al.* (1990) errechneten Verläufe ähnlicher Form, wobei ersterer eine flachere Kurve, letztere Autoren hingegen ein unmittelbareres Ansprechen auf die N-Konzentrationen aufzeigten. Die relativ breite Streuung dieser und der folgenden Kurven lässt sich zumindest teilweise auf die Verwendung mehrerer Sorten/Hefe-Kombinationen zurückführen.

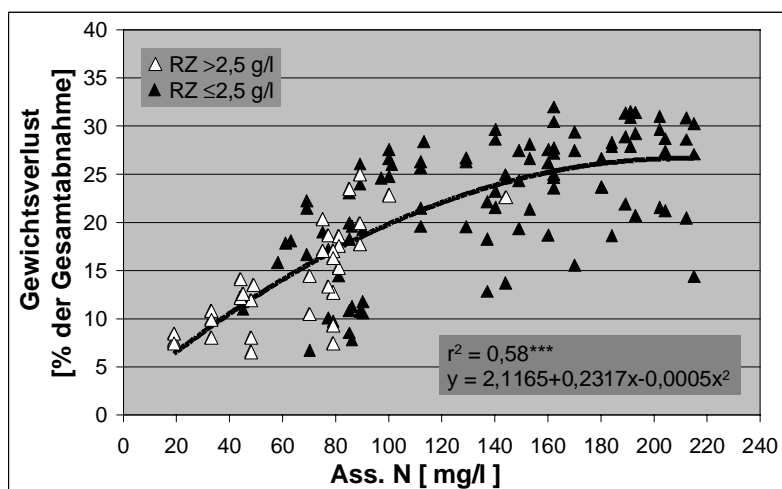


Abb. 1: Beziehung zwischen dem ass. N der Moste und der maximalen Gärgeschwindigkeit.

Vergärungen von 97er-Mosten der Sorten Weißburgunder, Chardonnay, Weißer Sauvignon, Ruländer, Vernatsch und Cabernet Sauvignon unter Verwendung von sechs TRZH-Präparaten (n=130).

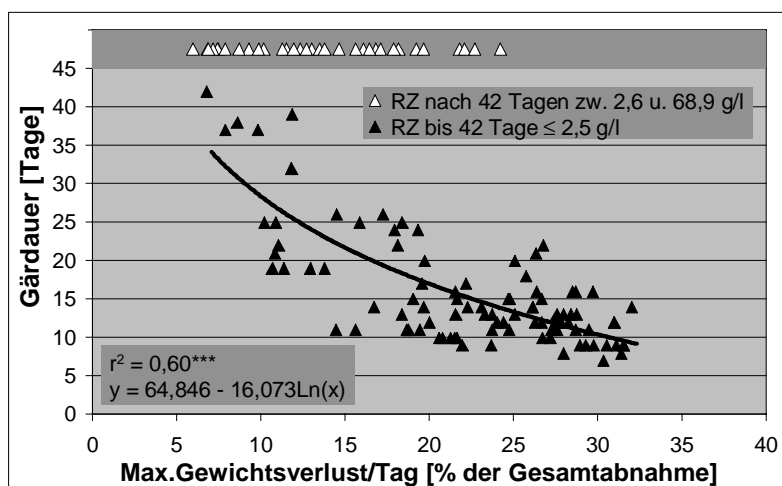


Abb. 2: Beziehung zwischen der maximalen Gärgeschwindigkeit und der Gärdauer.

Die Regressionskurve beruht auf den ausgegorenen Most/Hefe-Kombinationen. Vergärungen von 97er-Mosten der Sorten Weißburgunder, Chardonnay, Weißer Sauvignon, Ruländer, Vernatsch und Cabernet Sauvignon unter Verwendung von sechs TRZH-Präparaten (n=97 trocken, n=33 restsüß).

Die maximale Gärgeschwindigkeit korrelierte negativ mit der Gärdauer (Abb. 2) insofern die Gärungen innerhalb 42 Tagen zum Abschluß kamen. Ein Viertel der Ansätze (weiße Datenpunkte auf grauem Hintergrund) wiesen auch nach dieser für die südtiroler Praxis sicherlich langen Zeitspanne noch Restzuckergehalte über 2,5 g/L auf. Auch Moste mit durchaus nicht besorgniserregendem Anfangsgärverhalten (15 bis 25 % CO₂-Abgabe pro Tag) blieben restsüß.

Laut BELY *et al.* (1990) hingegen ist eine geringe Gärintensität zu Beginn ein Indikator für Probleme mit der Endvergärung.

Abbildung 3 zeigt das Gärverhalten vier kommerzieller Trockenreinzuchthefen (TRZH) hinsichtlich des assimilierbarem Stickstoffs in Chardonnay-Mosten. Stamm A und C reagieren ähnlich auf die Steigerung der Gehalte an assimilierbarem Stickstoff. Während das Präparat A sechs Moste mit Konzentrationen unter 100 mg ass. N/L nicht mehr vollständig vergärte, war die TRZH C mit drei restsüßen Weinen relativ unempfindlich. Die Gärdauer der mit Präparat B beimpften Moste ließ sich durch das N-Angebot kaum beeinflussen. Die Zuckerumsetzung auch gut versorgter Moste dauerte lange, sieben Gärungen wiesen auch nach 42 Tagen Restzuckergehalte von über 2,5 g/L auf. Eine hohe Sensibilität gegenüber Nährstoffmangel wies die Hefe D auf, indem sie acht Moste nicht vollständig vergärte und auch bei mittlerem N-Angebot durch eine relativ lange Gärdauer auffiel. Bei Gehalten zwischen 140 und 100 mg/L betrug bei den relativ gärstarken TRZH A und C die Gärdauer 20 Tage. Unter 100 mg/L wurden vermehrt zu lange Gärungen oder Gärstokkungen beobachtet.

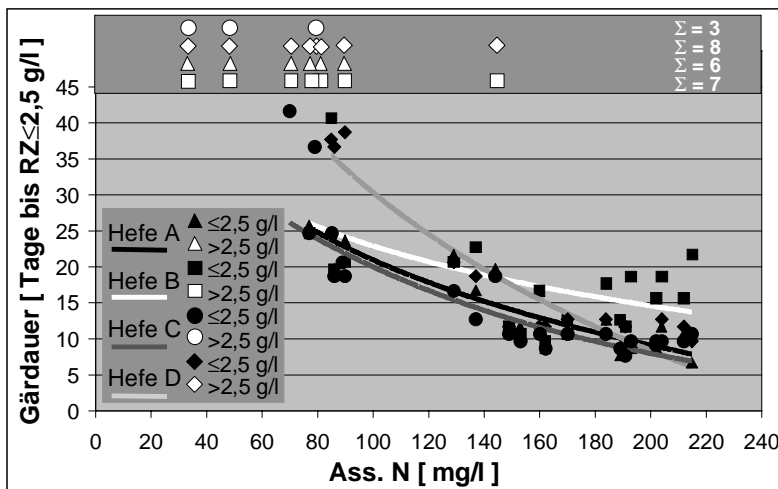


Abb. 3: Beziehung zwischen dem ass. N und der Gärdauer.

Vergärungen von 26 Chardonnay-Mosten des Jahres 1997 unter Verwendung von vier TRZH-Präparaten. Die Kurven beziehen sich auf ausgegorene Weine.

Hefe A:
 $r^2=0,83^{***}$ $y=100,14-17,12\ln(x)$

Hefe B:
 $r^2=0,33^{**}$ $y=78,57-12,01\ln(x)$

Hefe C:
 $r^2=0,79^{***}$ $y=49,14e^{-0,0085x}$

Hefe D:
 $r^2=0,88^{***}$ $y=146,47-31,67\ln(x)$

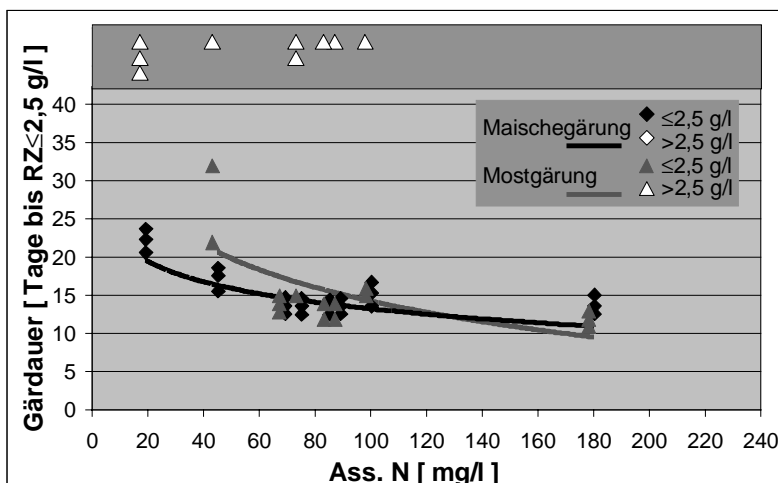


Abb. 4: Beziehung zwischen dem ass. N und der Gärdauer.

Vergärungen von Vernatsch- und Cabernet-Sauvignon-Maischen bzw. -Mosten des Jahres 1997 unter Verwendung von drei TRZH-Präparaten. Die Kurven beziehen sich auf ausgegorene Weine.

Maischegärung:
 $r^2=0,72^{***}$ $n=24$
 $y=30,377-3,8692\ln(x)$

Mostgärung:
 $r^2=0,44^{**}$ $n=15$
 $y=51,268-8,0408\ln(x)$

JIRANEK *et al.* (1991 und 1995) dokumentierten beträchtliche Unterschiede im N-Bedarf einzelner Hefestämme. Insbesondere in Mangelsituationen wirkte sich der unterschiedliche N-Metabolismus aus. Für AGENBACH (1977) stellen 130 mg FAN die untere Grenze für eine problemlose Gärung dar, BELY *et al.* 1990 belegen 140 mg/L ass. N als Limit. LORENZINI (1996) gibt einen Formolindex von 10 (dies entspricht ca. 140 mg/L ass. N) an, unter dem zu lange Gärungen zu erwarten sind.

Die Abbildung 4 veranschaulicht die unterschiedliche Bedeutung des assimilierbaren Stickstoffs für die Most- bzw. Maischegärung. Wurden die Trauben der untersuchten roten Sorten wie Weißweine verarbeitet, blieb ein Drittel der Gärungen restsüß. Die gleichen Trauben als Rotwein verarbeitet gärten auch bei niedersten Konzentrationen an assimilierbarem Stickstoff noch schnell und sicher aus.

Das Vorhandensein des gesamten Trubgehaltes (AYESTERÁN *et al.* 1995, FEUILLAT 1996, GROAT und OUGH 1978, WUCHERPFENNIG und BRETTHAUER 1970) sowie eine nicht quantifizierte Nährstoffextraktion aus den an N-Verbindungen reichen Schalen (PEYNAUD und MAURIE 1953) scheinen wesentlich die Wachstumsbedingungen der Hefen zu verbessern.

Einen Auszug aus laufenden weinbaulichen Versuchen stellen die Abbildungen 5 und 6 dar. Die Wirkung von Kulturmaßnahmen an Dauerkulturen wie dem Weinbau sind nach einem Jahr nicht endgültig bewertbar, so daß die Ergebnisse vorerst nur beschränkt verallgemeinerbar sind.

Die Gärkurven der einzelnen Versuchseinheiten der Abbildung 5 spiegeln deutlich die Abhängigkeit der Gärdauer vom hefeverwertbarem Stickstoff wider. So gärten die Moste unter 80 mg/L lange oder blieben restsüß, während jene mit N-Konzentrationen über 100 mg/L einen durchaus normalen Zuckerabbau aufwiesen. Die großen Unterschiede innerhalb der Varianten lassen auf deutliche Bodenunterschiede in der Versuchsanlage hinsichtlich der Stickstoffversorgung schließen. Trotzdem verdeutlichen die Varianten "30 kg N/ha als Mineraldünger auf die Rebzeile" sowie "3 Harnstoff-Blattspritzungen ab Reifebeginn" den Einfluß solcher Maßnahmen auf den Gärverlauf.

Auch im Falle der Maischegärung (Abb. 6) wirkte sich die Düngung aus. Die N-Gabe verkürzte die Gärung in Anwesenheit der Schalen um vier Tage, bei den Mosten bewirkte der düngungsbedingte Anstieg des ass. N ein Verkürzung um sieben Tage.

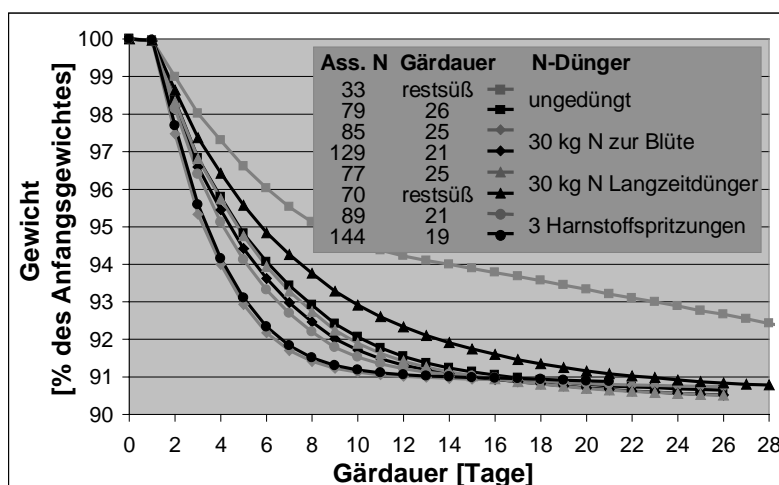


Abb. 5: Gärkurven von Chardonnay-Mosten des Jahres 1997 mit verschiedenen Gehalten an assimilierbarem Stickstoff, Hefe A. Vorläufiges Teilergebnis aus RAIFER und KOBLER (1998).

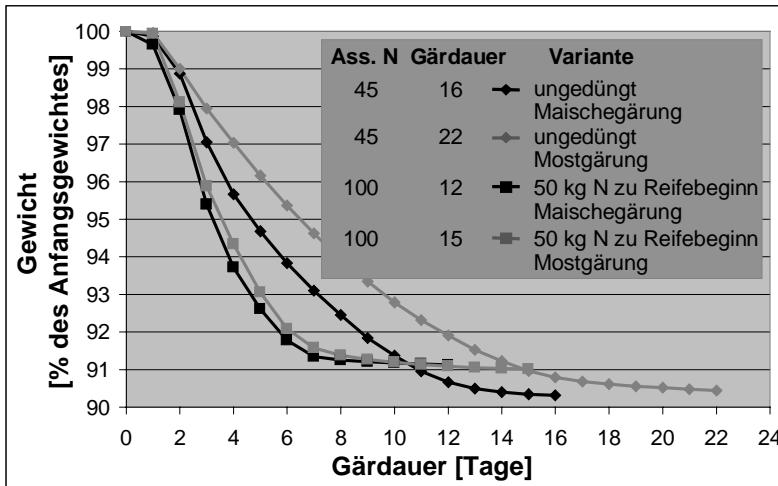


Abb. 6: Gärkurven von Vernatsch-Maischen und -Mosten der Ernte 1997 mit verschiedenen Gehalte an assimilierbarem Stickstoff, Hefe C. Vorläufiges Teilergebnis aus RAIFER und KOBLE (1998).

112 kg/ha betrug die von SPAYD *et al.* (1995) bei Riesling ermittelte minimale jährliche N-Düngergabe, welche Gärstörungen verhinderte. Diese Menge brachte im Most eine Konzentration an ass. N von 150 mg/L hervor. MAIGRE *et al.* (1995) verzeichneten mit 100 kg N/ha Verkürzungen der Gärdauer gegenüber der Kontrolle, welche 12% (von 8 auf 7 Tage) bis 43% (von 28 auf 16 Tage) betragen. Bei PRIOR (1997) zeigten die Moste der Düngervarianten „Kontrolle“ und „30 kg N bei Austrieb“ deutliche Gärschwierigkeiten. Gehalte an ass. Amino-N von 100 bis 70 mg/L bewirkten im Schnitt Restzuckergehalte von mehr als 5 g/L, bei 70 bis 40 mg/L ergaben die Vergärungen Weine mit durchschnittlich 17 g/L Restzucker.

Die Wirkung der Temperatur sowie der Zugabe von Ammonium-Salzen (30g/hl, 50% Ammoniumdiphosphat, 50% Ammoniumsulfat) ist in Abbildung 5 dargestellt. Bei 21°C wirkten die Gärsalzgaben stärker als bei 24°C und die Abweichungen zwischen den vergorenen Sorten und Wiederholungen - ausgedrückt durch den Standardfehler - sind bei der höheren Gärtemperatur auch geringer. Ob das Gärsalz zu Gärbeginn, bei 25% oder 50% des Zuckerabbaus beigegeben wurde, hatte keine Auswirkung auf die Gärdauer. Über alle Gärsalzvarianten erbrachte die Temperatursteigerung im Schnitt eine Verkürzung der Gärdauer von ca. 30%. Temperatur und Ammoniumgaben wirkten etwa in gleichem Ausmaß, ist die Gärdauer der Variante "24°C ohne Gärsalz" doch unwesentlich kürzer als die Varianten "21°C Gärsalz bei 25% bzw. 50% des Zuckerabbaus".

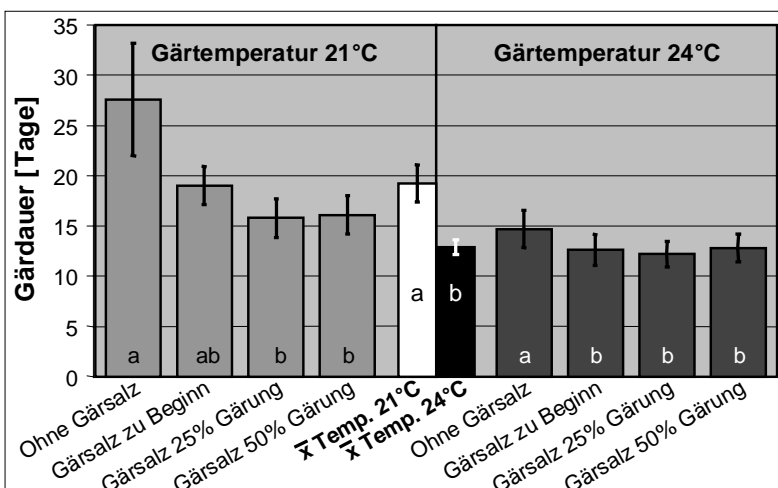


Abb. 5: Mittlere Gärdauer und Standardfehler verschiedener Gärsalz/Temperatur-Kombinationen des Jahres 1996. Mittelwerte gleicher Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tuckey HSD P>5%). n=80: 5 Moste (Weißburgunder, Chardonnay, Gewürztraminer, Riesling, Chenin blanc) × 2 Gärtemperaturen × 4 Gärsalzvarianten × 2 Wiederholungen).

LEMPERLE (1993) konnte in einem kombinierten Hefe/Gärsalz-Versuch bei 20°C eine Gärbeschleunigung um durchschnittlich 7 Tage beobachten, wenn den Ansätzen 30g/hl Ammoniumsalz beigegeben wurde. Nicht alle Hefestämme reagierten jedoch in gleichem Ausmaß auf die Verbesserung des N-Angebotes. Bei LORENZINI (1996) bewirkte die Zugabe von 20 g/hl Diammoniumphosphat bei 16°C eine Verkürzung der Gärung, falls der Most mit N unterversorgt war (Formolindex 5,4). Im besser ausgestatteten Most (Formolindex 8,7) hingegen hatte diese Maßnahme nur eine Beschleunigung zur Mitte des Zuckerabbaus zur Folge. Der Zeitpunkt der Gärsalzgabe, zum Zeitpunkt des Anstellens oder bei ca. 1/3 des Zuckerabbaus, hatte keinen Einfluß auf die Gärdauer. HENICK-KLING *et al.* (1996) konnten mit den in den U.S.A. zugelassenen 100g/hl DAP und 21°C Gärstörungen wirkungsvoll verhindern. Moste aus der Kontrollvariante eines australischen Düngerversuches (167 mg/L FAN, 118 mg/L NH₄) von GOLDSPIK und FRAYNE (1993) zogen keinen Vorteil aus der N-Anreicherung mittels Diammoniumphosphat. Die 20 und 40 g/hl wirkten sich zwar auf die Gärintensität aus, die Gärdauer blieb aber davon fast unbeeinflusst (von 600 auf 570 Stunden). Die Moste der Düngervariante „100 g N/Rebe beim Austrieb und 100 g N/Rebe in der Nachblüte“ mit 290 mg/L FAN und 192 mg/L NH₄ reagierten in noch geringerem Umfang (von 260 auf 250 Stunden). BELY *et al.* (1990) konnten in ihren umfangreichen Versuchen Gärverkürzungen als Folge von DAP-Gaben beobachten, die bei schwach versorgten Mosten auch 30% betragen. Besser ausgestattete (>200 mg ass. N/L) gärten nach der N-Zuweisung nur unwesentlich schneller. Ob die 30 g/hl Ammoniumsalz zu Beginn oder bei 40% verbrauchtem Zucker zugegeben wurden, hatte auf die Endvergärung keinen Einfluß. Gegen die Gabe vor dem ersten Gärdrittel spricht laut den Autoren die höhere Gärintensität, welche den Gärbehälter unnötig aufheizt.

Schlußfolgerungen:

Die Gehalte an assimilierbarem Stickstoff, analysiert mit der von CORRADIN (1997) modifizierten Ninhydrin-Methode, lassen mit genügender Genauigkeit Rückschlüsse auf den Gärverlauf der Moste und Maischen zu. Zwischen der Konzentration an hefeverwertbarem Stickstoff und der Gärdauer besteht zumeist ein negativer logarithmischer Zusammenhang. Die wiederholt beobachteten stammspezifischen Unterschiede bezüglich der N-Anforderungen bekräftigen die Forderung, das Selektionskriterium „Robustheit gegenüber N-Mangel“ in Zukunft mehr zu gewichten. Weinbauliche Maßnahmen, insbesondere die Düngung, verbessern die Vergärbarkeit der Moste und Maischen, ihr rein kellerwirtschaftlich orientierter Einsatz ist im Hinblick auf mögliche Probleme wie Grundwasserbelastung (SCHALLER 1991), Reifeverzögerung (CHRISTENSEN *et al.* 1994) sowie erhöhte Anfälligkeit gegenüber Schaderregern (BAVARESCO und EIBACH 1987, PERRET *et al.* 1994) genau abzuwägen. Gärsalzgaben wirken sich positiv auf die Endvergärung aus und zwar umso besser, je ärmer der Most an assimilierbarem Stickstoff ist. Ob die Ammoniumgabe den mangelnden Traubenstickstoff vollständig ersetzen kann, bedarf noch weiteren Untersuchungen, insbesondere sensorischer Art. Es ist seit längerem bekannt, daß die Hefe, falls sie vorwiegend Ammonium aufnimmt, in geringerem Ausmaß die olfaktorisch bedeuten den höheren Alkohole produziert (DRAWERT *et al.* 1967, RAPP und VERSINI 1991).

Literaturverzeichnis:

- AERNY J.: Composés azotés des moûts et des vins. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **28**, 161-165, 1996.
- AGENBACH W.A.: A study of must nitrogen content in relation to incomplete fermentations, yeast production and fermentation activity. *Proceedings South Afr. Soc. Enol. Vitic.*, Cape Town, 66-87, 1977.
- AURICH M.: Mikrobiologische Gesichtspunkte beim Traubentransport, im Keller und bei der Gärung. *Tagungsberichte 5. Internationales Symposium, Innovationen in der Kellerwirtschaft, Mikroorganismen und Weinbereitung*, 1998.
- AYESTARÁN B.M., ANCÍN M.C., GARCÍA A.M., GONZÁLEZ A. und GARRIDO J.J.: Influence of pre-fermentation clarification on nitrogenous contents of musts and wines. *J. Agric. Food Chem.* **43**, (2) 476-482, 1995.
- BAVARESCO L. und EIBACH R.: Investigations on the influence of N fertilizer on resistance to powdery mildew (*Oidium tuckeri*) downy mildew (*Plasmopara viticola*) and on phytoalexin synthesis in different grapevine. *Vitis* **26**, 192-200, 1987.
- BELY M., SABLAYROLLES J.-M. und BARRE P.: Automatic Detection of Assimilable Nitrogen Deficiencies during Alcoholic Fermentation in Oenological Conditions. *J. Ferm. Bioeng.* **70**, 246-252, 1990.
- BERTAMINI M. und MALOSSINI U.: Effetto delle pratiche colturali sulla composizione azotata dell'uva per la produzione di vini base spumante. In Druck, 1998.
- BISSON L.F.: Influence of Nitrogen on Yeast and Fermentation of Grapes. *Proceedings International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*, Seattle, USA, 78-89, 1991.
- Boehringer Mannheim: Methoden der biochemischen Analytik und Lebensmittelanalytik. Firmenschrift der Boehringer Mannheim GmbH, Mannheim, 1987.
- CHRISTENSEN L.P., BIANCHI M.L., PEACOCK W.L. und HIRSCHFELT D.J.: Effect of Nitrogen Fertilizer Timing and Rate on Inorganic Nitrogen Status, Fruit Composition, and Yield of Grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* **45**, 337-387, 1994.
- CONTERNO L. und DELFINI C.: Peptidase activity and the ability of wine yeasts to utilize grape must proteins as sole nitrogen source. *J. wine research* **5**, 113-126, 1994.
- CORRADIN L.: Ottimizzazione e confronto di metodi per la determinazione, in mosto d'uva, dell'azoto assimilabile in fermentazione. Doktorarbeit, Università Padova, 1997.
- D'AMBROSIO L.: Mikrobiologische Gesichtspunkte beim Traubentransport, im Keller und bei der Gärung. *Tagungsberichte 5. Internationales Symposium, Innovationen in der Kellerwirtschaft, Mikroorganismen und Weinbereitung*, 1998.
- DE IURE C.: Determinazione dell'APA nei mosti italiani. *Vignevini* **22**, (4) 52-56, 1995.
- DRAWERT F. und RAPP A.: Über Inhaltsstoffe von Mosten und Weinen, IV Modellgärversuche zur Untersuchung der Fuselölbildung und gaschromatographische Analyse von Fuselölalkoholen. *Vitis* **4**, 262-268, 1964.
- DRAWERT F., RAPP A. und ULLEMAYER H.: Radio-gaschromatographische Untersuchung der Stoffwechsellistung von Hefen (*Saccharomyces* und *Schizosaccharomyces*) in der Bildung von Aromastoffen. *Vitis* **6**, 177-197, 1967
- FEUILLAT M.: Influence de la clarification des moûts sur la fermentescibilité des vins blancs. *Rev. Fr. Oenol.* **36** (159) 35-38, 1996.
- FEUILLAT M., BRILLANT G. und ROCHARD J.: Mise en évidence d'une production de protéases exocellulaires par les levures au cours de la fermentation alcoolique du moût de raisin. *Conn. Vigne Vin* **14**, 37-52, 1980.
- GOLDSPIK B.H. und FRAYNE R.F.: What - no nitrogen? *Austral. Grapegrower Winemaker* 92-97, 1993
- GROAT M. und OUGH C.S.: Effects of soluble solids added to clarified musts on fermentation rate, wine composition and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* **29**, 112-119, 1978.
- HENICK-KLING T., EDINGER W.D. und LARSON-KOVACH I.M.: Survey of Available Nitrogen for Yeast Growth in New York Grape Musts. *Weinwiss.* **51**, 169-174, 1996.
- INGLEDEW W.M. und KUNKEE R.E.: Factors influencing sluggish fermentations of grape juice. *Am. J. Enol. Vitic.* **36**, 65-76, 1985.
- JIRANEK V., LANGRIDGE P. und HENSCHKE P.A.: Yeast nitrogen demand: Selection criterion for wine yeast for fermenting low nitrogen must. *Proceedings International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*, Seattle, USA, 266-269, 1991.
- JIRANEK V., LANGRIDGE P. und HENSCHKE P.A.: Amino Acid and Ammonium Utilization by *Saccharomyces cerevisiae* Wine Yeasts From a Chemically Defined Medium. *Am. J. Enol. Vitic.* **46**, 75-83, 1995.
- KOBLER A.: Der Einfluß prefermentativer Techniken auf die Weinqualität. Laufender Versuch, 1998.
- LEMPERLE F.: Hefenährsalze - wozu? *Dt. Weinbau*, (19) 23-26, 1994.

- LIE S.: The EBC-Ninhydrin Method for Determination of Free Alpha Amino Nitrogen. *J. Inst. Brew.* **79**, 37-41, 1973.
- LÖHNERTZ O. und RAUHUT D.: Bedeutung der Stickstoffversorgung für die Hefeernährung und die Weinqualität. *Badische Winzer* **22**, (6) 36-41, 1997a.
- LÖHNERTZ O. und RAUHUT D.: Bedeutung der Stickstoffversorgung für die Hefeernährung und die Weinqualität. *Badische Winzer* **22**, (7) 20-22, 1997b.
- LORENZINI F.: Teneur en azote et fermentescibilité des moûts de Chasselas. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **28**, 169-174, 1996.
- MAIGRE D., AERNY J. und MURISIER F.: Entretien des sols viticoles et qualité des vins de Chasselas: influence de l'enherbement permanent de la fumure azotée. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **27**, 237-251, 1995
- McWILLIAM D.J. und OUGH C.S.: Measurement of ammonia in musts and wines using a selective electrode. *Am. J. Enol. Vitic.* **25**, 67-72, 1974.
- OUGH C.S. und STASHAK R.M.: Further studies on proline concentration in grapes and wines. *Am. J. Enol. Vitic.* **25**, 7-12, 1974
- OUGH C.S., LIDER L.A. und COOK J.A.: Rootstock-scion interactions concerning wine making. I. Juice composition changes and effects on fermentation rate with St. George and 99-R rootstocks at two nitrogen fertilizer levels. *Am. J. Enol. Vitic.* **19**, 213-227, 1968.
- PERRET P., KOBLET W., WEISSENBACH P. und SCHWAGER H.: Der Einfluß des zeitlichen Stickstoffangebots auf Ertrag und Qualität sowie Botrytis- und Stielähmebefall der Weinrebe. *Mitt. Klosterneuburg* **44**, 127-135, 1994.
- PEYNAUD E. und MAURIÉ A.: Sur l'évolution de l'azote dans les différentes parties du raisin au cours de la maturation. *Ann. Technol. Agric.* **2**, 15- 25, 1953. Zitiert in: BOULTON R.B., SINGLETON V.L., BISSON L.F. und KUNKEE R.E.: Principles and Practices of Winemaking, Chapman & Hall, New York, 1996.
- PRIOR B.: 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. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, 1997.
- RAIFER B. und KOBLER A.: Der Einfluß von verschiedene N-Düngerformen auf das Gärverhalten von Mosten und die Weinqualität. Laufender Versuch, 1998.
- RAPP A. und VERSINI G.: Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds of wine. *Proceedings International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*, Seattle, USA, 156-164, 1991.
- SABLAYROLLES J.-M., SALMON J.-M. und BARRE P.: Carences nutritionnelles des moûts. Efficacité des ajouts combinés d'oxygène et d'azote ammoniacal. *Rev. Fr. Oenol.* **36** (159) 25-32, 1996.
- SALMON J.M.: Effect of Sugar Transport Inactivation in *Saccharomyces cerevisiae* on Sluggish and Stuck Enological Fermentations. *Appl. Environ. Microbiol.* **55**, 953-958, 1989.
- SCHALLER K.: Ground Water Pollution by Nitrate in Viticultural Areas. *Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*, Seattle, USA, 12-22, 1991.
- SPAYD S.E., NAGEL C.W. und EDWARDS C.G.: Yeast Growth in Riesling Juice as Affected by Nitrogen Fertilization. *Am. J. Enol. Vitic.* **46**, 49-55, 1995.
- STEFANI R. und TONON D.: La determinazione degli zuccheri nei mosti e nei vini con titolatore automatico. *Vignevini* **20**, (5) 39-43, 1993.
- TANNER H. und BRUNNER HR.: Getränke Analytik. Verlag Heller Chemie- und Verwaltungsgesellschaft mbH, Schwäbisch Hall 1979.
- THORNE R.S.W.: Nitrogen Metabolism of Yeast. A Consideration of the Mode of Assimilation of Amino Acids. *J. Inst. Brewing* **55**, 201-222, 1949.
- VERSINI G., LUNELLI M., SEPI A., DALLA SERRA A. und VOLONTERIO G.: Aspetti connessi alla produzione di vini base-spumante da Chardonnay e Pinot nero. *Enotecnico* **31**, (4) 49-65, 1995.
- WUCHERPFENNIG K. und BRETTHAUER G.: Über die Bildung von flüchtigen Aromastoffen in Traubenwein in Abhängigkeit von der Mostvorbehandlung sowie von der verwendeten Heferasse. *Mitt. Klosterneuburg* **20**, 36-46, 1970.

Danksagung:

Dem Weinlabor unter der Leitung von Dr. Luca D'Ambrosio sei für die zahlreichen Analysen des assimilierbaren Stickstoffs gedankt.