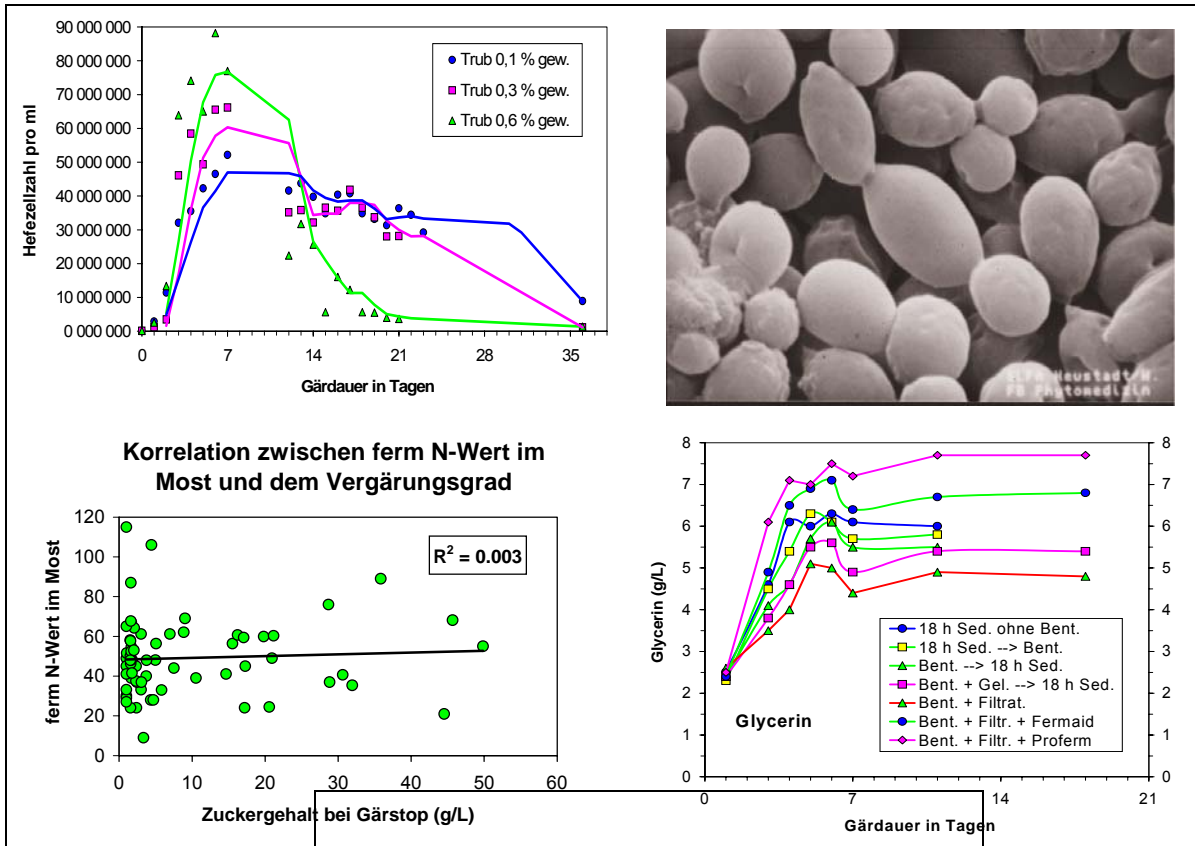


ATW-Bericht 97



Gärunterbrechungen und Behebung von Gärstörungen

Ulrich Fischer

AT

ATW - Ausschuss für Technik im Weinbau

Deutscher Weinbauverband, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft

Abschlussbericht über das
ATW-Vorhaben Nr. 97

Ermittlung von Ursachen für den frühzeitigen Abbruch der alkoholischen Gärung und Untersuchungen zur Prävention von Gärunterbrechungen

Bearbeiter: Dr. Ulrich Fischer

KTBL-Titel: I/23
Förderjahre: 1996 bis 1998

Förderländer: Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz

Durchführung: Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt
für Landwirtschaft, Wein- und Gartenbau
Abt. Kellerwirtschaft
Leiter: GD Dr. Hans-Peter Lorenz
Breitenweg 71; D-67435 Neustadt/W.

ATW-Vorstand

Vorsitzender: Peter Jost
Oberstraße, D-55422 Bacharach
Tel.: 06743/1216
Fax: 06743/1076

2. Vorsitzender: Prof. Dr. Werner Rühling
Forschungsanstalt Geisenheim; Fachgebiet Technik
Brentanostraße 9; D-65366 Geisenheim
Tel.: 06722/502-361
Fax: 06722/502-360
eMail: technik@geisenheim.fh-wiesbaden.de

Dr. Jürgen Dietrich
Staatlicher Hofkeller Würzburg
Residenzplatz 3
D-97070 Würzburg
Tel.: 0931/30509-23
Fax: 0931/30509-66
eMail: j.dietrich@hofkeller.de

ATW-Beirat

Obmann: MinR Hermann Fischer
Minist. für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau
PF 3269; Bauhofstraße 4, D-55116 Mainz
Tel.: 06131/16-3516
Fax: 06131/16-3533
eMail: Hermann.Fischer@mwwlw.rpl.de

Geschäftsführer: Dr. Albrecht Achilles
KTBL, Bartningstr. 49
D-64289 Darmstadt
Tel.: 06151/7001-139
Fax: 06151/7001-204
eMail: a.achilles@ktbl.de

Titelbild: Foto Hefe in stationärer Phase, Siha 3, 5000-fache Vergrößerung
– FB Phytomedizin, SLFA Neustadt
Abbildung 9: Einfluß des Trubgehaltes auf die Hefezellzahl
Abbildung 30: Korrelation zwischen dem ferm N-Wert und dem Endvergärungs-
grad
Abbildung 39: Glycerinbildung in Abhängigkeit der Mostbehandlung

© 2000 by Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49, D-64289 Darmstadt, Tel.: 06151/7001-139. Internet: www.ktbl.de

Redaktion: Dr. Albrecht Achilles, KTBL

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie
des Deutschen Weinbauverbandes.

Nachdruck, auszugsweise Wiedergabe, Vervielfältigung, Übernahme auf Datenträger und Übersetzung
nur mit Genehmigung des ATW.
Printed in Germany.

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Physiologische Ursachen von Gärstörungen	4
2.1	Allgemeine Hefephysiologie	4
2.1.1	Wachstumsfaktoren:	5
2.1.2	Überlebensfaktoren	8
2.2	Regulation des Zuckertransports in der Hefe	11
2.2.1	Zuckertransporter der Hefe	12
2.2.2	Bindung von Zucker an Zuckertransporter	12
2.2.3	Regulation der Gärung über den Zuckertransport	13
2.2.4	Ursachen der bevorzugten Glucoseaufnahme durch die Hefe	13
2.3	Einflussfaktoren auf die Gärintensität	15
2.3.1	Nährstoff- und Vitaminmangel	15
2.3.2	Alkoholtoxizität und die Bedeutung von Überlebensfaktoren	17
2.3.3	Niedriger pH-Wert	18
2.3.4	Extreme Temperaturen	18
2.3.5	Hefetoxine und Killerfaktoren	18
2.3.6	Konkurrenz durch andere Mikroorganismen	19
2.3.7	Kellerwirtschaftliche Maßnahmen	20
3	Material und Methoden	22
3.1	Fragebogen für die teilnehmenden Weingüter in der Pfalz	22
3.2	Probennahme:	22
3.3	Weinchemische Analytik	22
3.4	Stickstoff- und Aminosäureanalytik:	23
3.5	Statistische Analyse	24
3.6	Einfluß oenologischer Parameter auf die Gärkinetik und Hefezellzahlen	24
4	Kellerwirtschaftliche Ursachen für Gärstörungen	26
4.1	Trubgehalt der Moste	26
4.2	Erhöhung des Trubgehaltes mit Cellulose	32
4.3	Erhöhung des Trubgehaltes mit Bentonit	36
4.4	Säuregehalte und pH-Werte der Moste	40
4.5	Phenolgehalt	40
4.6	Hefeeinsaat und Hefestamm	41
4.7	Natürliche Stickstoffversorgung	44
4.7.1	Hefeverwertbarer Stickstoff im Most	45
4.7.2	Aminosäurespektrum der Moste und Weine	47
4.8	Möglichkeiten der Kellerwirtschaftlichen Stickstofferrhöhung	51
4.8.1	Gärsalze	52
4.8.2	Heferindenpräparate	53

4.9	Sauerstoffversorgung	58
4.10	Einfluß der Gärtemperatur	60
4.11	Glucose-Fructose-Verhältnis	61
5	Möglichkeiten zur Vermeidung von Gärstörungen	64
5.1	Optimale Herstellung eines Hefeansatzes	64
5.2	Temperaturführung	65
5.3	Stickstoffversorgung	66
5.3.1	Zeitpunkt der Gabe von Gärsalzen.....	66
5.3.2	Aussagekraft von Schnellmethoden zur Stickstoffbestimmung im Most.....	67
6	Vorgehensweise bei einer verlangsamten Gärung	72
7	Maßnahmen zur Reaktivierung einer gestockten Gärung.....	73
7.1	Neuer Hefeansatz.....	73
7.2	Verschnitt.....	74
7.3	Alternativen.....	74
8	Schlußfolgerungen	76
9	Literatur	78
10	Danksagung	80
11	Anhang.....	81
11.1	Anhang 1 Fragebogen zur Erfassung relevanter Parameter zur Erklärung von Gärstörungen.....	81
11.2	Anhang 3 Probenplan	84
11.3	Anhang 3 Kellerwirtschaftliche Parameter im Most.....	85
11.4	Anhang 4 Vorlage zur Aufzeichnung Des Gärverlaufs.....	89

1 Einleitung

Die Kunst der Weinbereitung ist der Menschheit bereits seit vielen Jahrtausenden bekannt und entgegen vieler anders lautender Meinungen, ist nicht das Schwein oder der Hund das älteste Haustier des Menschen, sondern die Hefen, die bereits in steinzeitlichen Höhlen heimisch waren. Das Wissen um die Grundlagen der Vergärung waren jedoch lange nebulös bis in der ersten Hälfte des 19. Jahrhundert der Franzose Louis Pasteur erkannt, dass mit der Hefe ein einzelliger Pilz die alkoholische Gärung vollzieht. Diese heute alltäglich, damals aber revolutionäre Ansicht war Gegenstand höchst prominenter Auseinandersetzungen. So verspottete der berühmte deutsche Chemiker Justus von Liebig den Biologen Pasteur mit den Worten: „Um es richtig zu stellen, Herr Kollege, die Infusorien (gemeint waren die Hefezellen) fressen Zucker, entleeren aus ihrem Darmkanal Kohlensäure und aus der Harnblase den Alkohol. Dabei besitzt die Harnblase der Infusorien im gefüllten Zustand die Form einer Champagnerflasche, während sie nach der Entleerung nur noch ein kleiner Knopf ist“.

Obwohl bis zum heutigen Zeitpunkt enorm viel Wissen über die alkoholische Gärung und die Physiologie der Hefe angesammelt wurde, ist die Hefe auch in der modernen Kellerwirtschaft die Ursache von zwei großen Problemfeldern, dem der Gärstörungen und dem der Bockserbildung. Wenn man von Gärstörungen spricht, so liegt eine unerwünschte Abweichung von dem angestrebten Gärverlauf vor, der im allgemeinen das Ziel hat, innerhalb weniger Wochen den Most auf einen Restzuckergehalt von 2 g/l oder darunter zu vergären. Bedingt durch unsere technischen Möglichkeiten, aber auch den immer dominanter gewordenen Erfordernissen eines schnelllebigen Marktes, erwarten wir heute beinahe das Unmögliche von den eingesetzten Hefen: Sie sollen einen stark vorgeklärten Most rasch, aber nicht stürmisch, bis auf den letzten Gramm Zucker vergären und das bei möglichst niedrigen Temperaturen. Diese kellerwirtschaftlichen Wunschvorstellungen konnten jedoch in den vergangenen Jahren in vielen Betrieben nicht mehr realisiert werden: So hat in den letzten zehn Jahren das Auftreten frühzeitiger Gärunterbrechungen deutlich zugenommen und behindert den gezielten Ausbau trockener oder halbtrockener Weine erheblich. In Weinen mit hohem pH-Wert führen solche Gärverlangsamungen nicht selten auch zu einem unerwünschten biologischen Säureabbau, der bei restsüßen Weinen immer die Gefahr der erhöhten Bildung flüchtiger Säure in sich birgt.

Es war Ziel dieses Forschungsvorhabens, im Weinanbaugebiet Pfalz basierend auf umfassender Erhebungen in kooperierenden Weingütern die kellerwirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Gärung zu erfassen und diese in Beziehung zum Auftreten von Gärstörungen zu setzen. Begleitend wurde im Rahmen von Versuchen an bestimmten Ursachenkomplexen der Gärstörungen und ihrer Behebung geforscht. Dem praktischen Kellerwirt soll mit diesem Band eine sehr aktuelle und umfassende Einführung in die Ursachen der Gärstörungen gegeben werden, mögliche Gründe für Gärstörungen in der Praxis aufgezeigt werden und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung und Behebung an die Hand gegeben werden.

2 Physiologische Ursachen von Gärstörungen

Das erste Unterkapitel 2.1 Allgemeine Hefephysiologie gibt einen kurzen Überblick über die hefepysiologischen Ursachen für die Gärstörungen und führt in die prinzipielle Unterscheidung von Wachstums- und Überlebensfaktoren ein. Sie sind für den Leser gedacht, der eine kurze, aber nicht zu wissenschaftliche Einführung sucht. In den folgenden Unterkapiteln wird eine vertiefte wissenschaftliche Begründung für das Auftreten von Gärstörungen geliefert. Dabei kann es zu einigen wenigen Überschneidungen kommen. Diese beiden Kapitel stützen sich im wesentlichen auf den sehr aktuellen und hervorragenden Übersichtsartikel von Professor Linda F. Bisson von der University of California in Davis aus dem American Journal of Enology and Viticulture (Bisson, 1999). Um die Literaturübersicht in einem begrenzten Umfang zu halten, habe ich auf Literaturverweise verzichtet in diesen beiden Unterkapiteln verzichtet, die aber dem Originalartikel entnommen werden können.

2.1 Allgemeine Hefephysiologie

Im Wachstumsverlauf der Hefe unterscheidet man vier wichtige Phasen, in denen man verschiedene Strategien zur Gärförderung einsetzen kann:

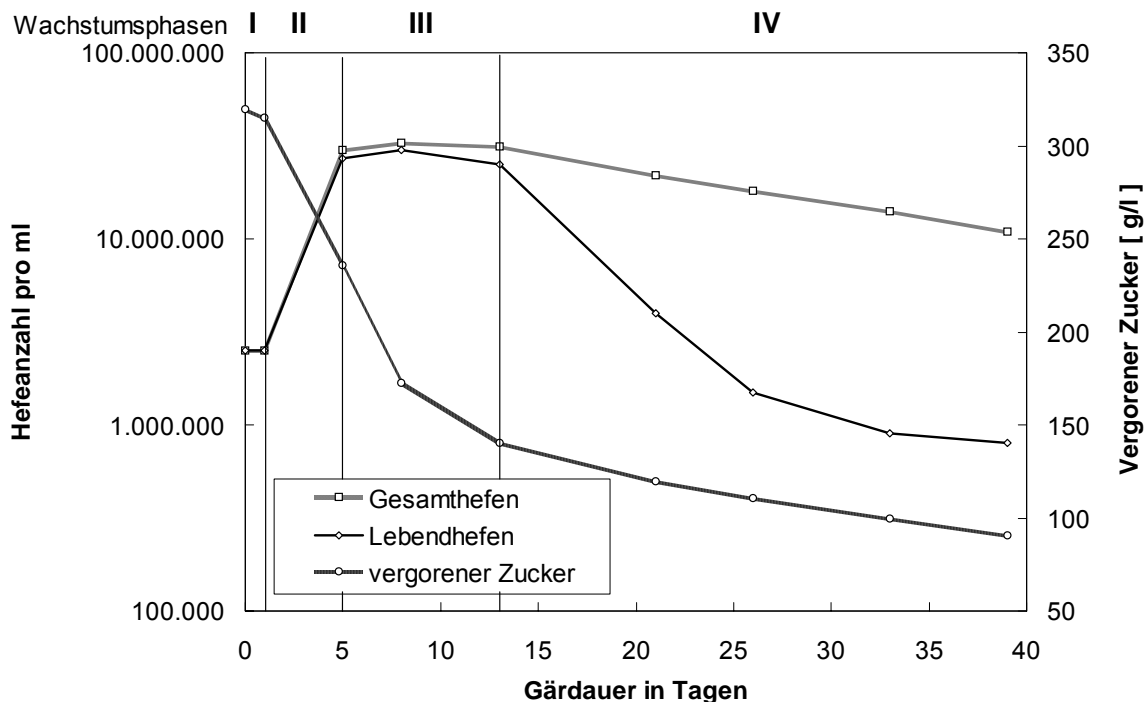


Abb. 1: Die vier Wachstumsphasen der Hefe

In der Anlaufphase I (Latenzphase) kommt es zu einer schwachen Hefevermehrung, da die Hefe erst ihre Atmungsenzyme aufbauen muss und daher nur über einen sehr begrenzten Energiegewinn zur Erhöhung ihrer Biomasse verfügt.

In der Wachstumsphase II (exponentielle Phase) vermehren sich die Hefezellen, je nach Einsaatmenge an Reinzuchtheffe oder Anwesenheit wilder Hefen von 1 – 5 Millionen Zellen pro ml auf 20 - 100 Millionen Zellen pro ml. Hierbei bilden sich bei der Verwendung von 10 bis 20 g/hl Reinzuchtheffe fünf bis sieben Generationen von Hefezellen durch Knospung.

Der Verbrauch des Sauerstoffs macht die Umstellung von der Veratmung auf sauerstofffreie Vergärung notwendig. Dabei geht der Energiegewinn pro Mol Zucker von 36 Mol ATP auf nur noch 2 Mol ATP

zurück. Aufgrund dieses geringen Energiegewinns ist die Hefe aber nicht mehr in der Lage, neue Zellmasse zu bilden und sich zu vermehren. Somit bleibt die Lebendzellzahl in der Phase III konstant, und dieser Umstand begründet die Namensgebung „stationäre Phase“. In ihr findet der Hauptteil der Umsetzung von Zucker zu Alkohol statt.

Mit zunehmendem Alkoholgehalt während Phase IV, der Absterbephase, wird es für die Hefe immer schwieriger, die Konzentration dieses Zellgiftes im Zellinneren gering zu halten. Damit sinkt die Lebendzellzahl der Hefen ab und gleichzeitig verringert sich auch die Gärintensität. Das Ende der Gärung sollte durch den kompletten Verbrauch des Substrates Glucose und Fructose bestimmt werden und nicht durch das Zusammenbrechen des Zuckertransportes in die Hefe, das einer frühzeitigen Gärunterbrechung gleich kommt.

Parallel zu den vier Phasen können die physiologisch bedeutsamen Faktoren in Ernährungsfaktoren, die für den Verlauf der Wachstumsphase ausschlaggebend sind und in die Überlebensfaktoren eingeteilt werden, die die Länge der stationären Phase und die Absterberate bestimmen und entscheidend für den erzielten Endvergärungsgrad verantwortlich zeichnen.

Wachstumsfaktoren

- Zuckeraufnahme
- Stickstoffversorgung
- Phosphorversorgung
- Versorgung an Vitaminen und Enzym Co-Faktoren

Überlebensfaktoren

- innere Oberfläche
- Temperatur
- Ethanoltoxizität
- Sauerstoffversorgung
- Zuckeraufnahme
- Toxine von Killerhefen

Ziel der gärfördernden Strategien sind:

- Eine ausreichende Anzahl widerstandsfähiger *Saccharomyces cerevisiae* Hefezellen während der Wachstumsphase zu erzeugen
- Eine möglichst lange stationäre Phase aufrechtzuhalten
- Eine niedrige Absterberate zu erzielen

2.1.1 Wachstumsfaktoren

Stickstoffversorgung

Das Trockengewicht der Hefe besteht zu 9 % aus Stickstoff (Ingledew, 1996), der als Bestandteil der Aminosäuren an der Bildung der Proteine maßgeblich beteiligt ist, aber auch in Form von Stickstoffbasen die molekulare Basis für die Erbgutinformationen liefert. Enzyme bestehen vornehmlich aus Proteinen und regulieren den gesamten stofflichen Umsatz in der Hefezelle. Einige Aminosäuren liefern auch das Grundgerüst für Fuselalkohole, die als Vorstufe der fruchtigen Ester dienen, aber auch direkt zum Aroma der Weine beitragen (Rapp und Versini, 1996).

Es ist unstrittig, dass ein Stickstoffmangel im Most eine Hauptursache von Gärstörungen darstellt. Wie viel Stickstoff braucht aber eine Hefekultur zur vollständigen Vergärung eines Mostes? Unter normalen Vergärungsbedingungen kann die Hefe nicht das gesamte Stickstoffangebot eines Mostes nutzen und daher beschränkt man sich auf die analytische Kennzahl des verwertbaren freien Aminosäuren Stickstoffs (FAN) und den Gehalt an Ammoniumionen (NH_4^+).

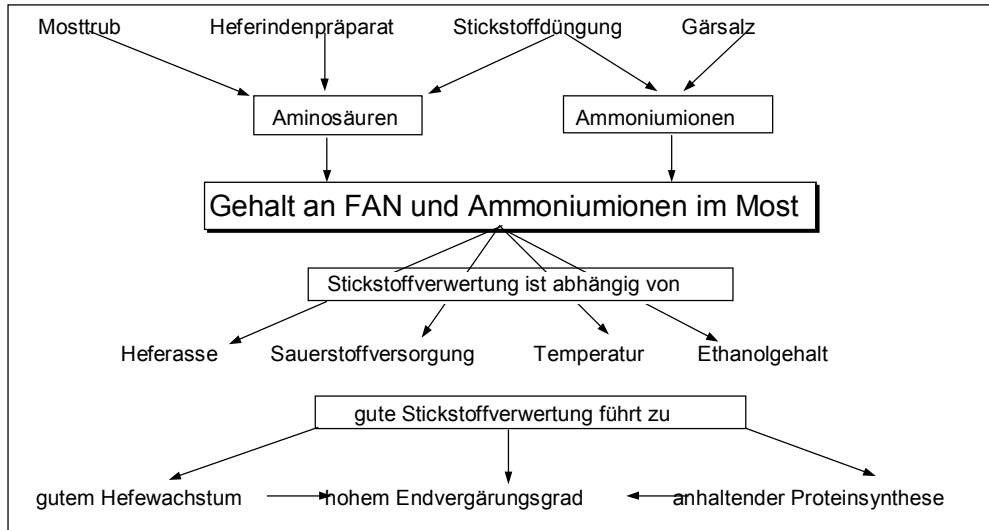


Abb. 2: Stickstoffversorgung der Hefe

Nicht jede Stickstoffquelle wird gleich gut von der Hefe verwertet. Dabei spielt auch das Gärmedium eine große Rolle. So zählt das Ammonium in der Biermaische nicht zu den bevorzugt aufgenommenen Stickstoffkomponenten, während es im Traubenmost mit Glutaminsäure und Glutamin zu den am raschesten aufgenommenen Substanzen gehört (Bisson und Kunkee, 1995). Grundsätzlich werden alle Aminosäuren recht gut aufgenommen, wobei die in geringeren Konzentrationen vorliegenden Aminosäuren eher erschöpfend aufgenommen wurden, als die in größeren Mengen angebotenen Formen. Die im Most am häufigsten vorkommende Aminosäure Prolin kann nur bei einer guten Sauerstoffversorgung durch die Hefe genutzt werden, was bei der praxisüblichen Gärführung nicht der Fall ist. Die Ammoniumionen, die z. B. durch den Einsatz von Gärsalz gezielt erhöht werden können, können die Aufnahme bestimmter Aminosäuren verlangsamen oder sogar unterbinden.

Bei dem Stofftransport in die Hefe unterscheidet man grundsätzlich drei Systeme (Bisson und Kunkee, 1995):

- Bei der freien Diffusion treten sehr kleine Substanzen, etwa die H^+ -Ionen, ohne Zuhilfenahme von Transporteinrichtungen und Energieaufwand entsprechend dem Konzentrationsgefälle in die Hefe ein.
- Bei der unterstützten Diffusion wird zwar auch keine Energie benötigt, wohl aber Transporteinrichtungen, z. B. in Form der Zuckertransporter. Um auch gegen ein Konzentrationsgefälle einen Stoff in die Zelle zu schleusen, kann parallel eine Substanz eingeschleust werden, die aufgrund eines starken Konzentrationsgefälle sehr leicht in die Hefe dringen kann, so z. B. H^+ -Ionen oder auch Kaliumionen.

- Bei dem aktiven Transport bedarf es einer energieabhängigen Transporteinrichtung, die unter Energieverbrauch die betreffende Substanz in die Hefe ein- oder herausschleust, wie etwa bei der Protonenpumpe, die H⁺-Ionen aus der Hefe transportiert.

Die meisten Stickstoffkomponenten gelangen über einen aktiven Transport in die Hefezelle oder über den Co-Transport von H⁺-Ionen, da im Cytoplasma der Hefe ein höhere Konzentration vorliegt als im Gärmedium. Der begrenzende Faktor für die Stickstoffaufnahme sind freie Kapazitäten der Protonenpumpe, die die miteingeschleusten H⁺-Ionen wieder hinaustransportieren, um eine innere Versäuerung der Hefe zu verhindern.

Die für eine vollständige Vergärung notwendigen FAN Gehalte werden zwischen 140 bis 878 mg/l angegeben, wobei neuere Berichte 300 bis 400 mg/l als notwendig beschreiben. Ausgehend von einer Erhebung der Stickstoffgehalte in Deutschland von 1983, die zwischen 390 und 600 mg/l schwankten (Dittrich, 1987), wurde in der Beratung oftmals eine ausreichende Stickstoffversorgung deutscher Moste angenommen.

Seit dem Beginn der 80er Jahre wurde die Stickstoffversorgung der Weinrebe inzwischen aufgrund der verstärkt ökologisch orientierten Düngungspraxis, dem vermehrten Einsatz von Dauerbegrünungsformen und nicht zuletzt auch aufgrund der Hektarhöchsttragsregelung deutlich reduziert. Dies hat auch starke Auswirkungen auf die Stickstoffversorgung der Moste und in einer Reihe von elf Mosten aus dem Jahrgang 1994 variierten die FAN-Gehalte nur noch zwischen 75 und 280 mg/l bei einem mittleren FAN-Gehalt von 171 g N/l (Schneider, 1995).

Die erlaubten 30 g/hl Diammoniumhydrogenphosphat entsprechen gerade einem FAN-Gehalt von 63 mg/l, der ausreicht, um etwa 21 Millionen Hefezellen/ml zu produzieren. Strebt man jedoch eine Zahl von 50 Millionen Hefezellen/ml an, so braucht der Most trotz Gärseinsatz noch rund 81 mg/l FAN oder für 100 Millionen Hefezellen/ml 237 mg/l FAN, die nur in einem der 11 gemessenen Moste 1994 erreicht wurden (Schneider, 1995).

Tab. 1: Bedarf an freiem Aminosäure-Stickstoff (FAN) zum Aufbau einer ausreichenden Hefebiomasse für eine komplette Vergärung

Reinzuchthefeneinsaat:	10 g/hl 2 Mio. Zellen pro ml	25 g/hl 5 Mio. Zellen pro ml
Vermehrungspotential durch 30 g/hl DAHP = 108 mg/l FAN	21 Mio. Zellen pro ml	21 Mio. Zellen pro ml
Notwendiger Stickstoffpool im Most für 50 Mio. Zellen/ml	27 Mio. Zellen 81 mg/l FAN	24 Mio. Zellen pro ml 72 mg/l FAN
Notwendiger Stickstoffpool im Most für 100 Mio. Zellen/ml	77 Mio. Zellen pro ml 231 mg/l FAN	74 Mio. Zellen pro ml 222 mg/l FAN

Nun ist es hinlänglich bekannt, dass steckenbleibende Moste gut angären, d. h. die Wachstumsphase verläuft offensichtlich ohne Probleme. Spätestens beim Abstich bemerkt man jedoch das extrem kleine Hefegeläge und stellt fest, dass die Wachstumsphase nicht den erhofften Zuwachs an Hefezellen lieferte. Um eine zu stürmische Gärung und zu hohe Gärtemperaturen während der Wachstumsphase zu verhindern empfiehlt es sich das Gärsealz erst am Ende der Wachstumsphase einzusetzen, die je nach Gärverlauf nach 3 bis 5 Tagen erreicht ist.

Die Auffüllung des Stickstoffpools erhöht die Proteinsynthese in der Hefe und damit die Ausbildung der Transportenzyme für Glucose und Fructose, deren Inaktivität einer der wichtigsten Gründe für einen unzureichenden Endvergärungsgrad darstellt. Dies empfiehlt sich insbesondere bei Rotweinen im Qualitätsweinebereich, die nach der Maischegärung verbessert werden. Mit der gleichzeitigen Zugabe von Zucker und Gär Salz wird der Hefezelle eine Stickstoffquelle zur ausreichenden Ausbildung des notwendigen Hexosetransport-Enzyms geliefert.

Phosphorversorgung

Eine mangelhafte Phosphorversorgung der Hefe ist bei unseren Böden und durch die Verwendung des Diammoniumhydrogenphosphats kaum zu befürchten.

Vitamin B₁

Das wichtigste Vitamin für die Hefe stellt das Vitamin B₁ oder Thiamin dar, das notwendig ist, um aus dem Pyruvat den Acetaldehyd zu bilden, der daraufhin zum Ethanol reduziert wird. Der Botrytis-Befall des Lesegutes kann den traubeneigenen Thiamingehalt auf ein Zehntel reduzieren, was nicht nur einen unzureichenden Endvergärungsgrad bewirkt, sondern auch hohe Pyruvatgehalte, die später als SO₂-Bindungspartner den SO₂-Bedarf der Weine stark erhöhen. Auch eine Bentonitschönung entfernt das positiv im Most geladene Thiamin und daher sollte nach jeder Mostschönung mit Bentonit die Höchstmenge Vitamin B₁ verabreicht werden.

Botrytis cineria und Pilze der Sekundärinfektionen vermindern jedoch nicht nur die Thiamin- und Stickstoffgehalte im Most, sondern behindern durch ihre Stoffwechselprodukte die Hefegärung. Dabei kommt es zur geringeren Vergärung des Zuckers und einer erhöhten Bildung von Essigsäure. Vor diesem Hintergrund ist die Behandlung des Mostes durch Kohleschönung zur Entfernung von niedermolekularen Gärhemmstoffen oder die Bentonitschönung zur Entfernung von gärstörenden Proteinen im Most auch in Hinblick auf einen hohen Endvergärungsgrad notwendig.

2.1.2 Überlebensfaktoren

In vielen Betrieben, die mit Gärstörungen in vergangenen Jahrgängen zu tun hatten, zeigte sich, dass mit der Verbesserung der Wachstumsfaktoren nicht immer eine ausreichende Förderung der Hefe gelang, die den gewünschten Endvergärungsgrad herbeiführten. Daher soll nun die Gruppe der Überlebensfaktoren behandelt werden.

Innere Oberfläche

Eine starke Mostklärung hat in qualitätsorientierten Betrieben breiten Eingang in die Praxis gefunden und sie ist eine wichtige Voraussetzung zur Erzeugung reintoniger Weißweine. Die positiv zu bewertende Entfernung von Trubstoffen hemmt jedoch auf zweierlei Weise den Endvergärungsgrad:

- Der Beerentrub dient der Hefe als Nährstoffquelle, aus dem sie Fettsäuren für die Sterolsynthese entnimmt, sowie Proteine, die sie dank ihrer Proteasen zu verwertbaren Aminosäuren zersetzen kann.
- Die Trubstoffe erhöhen die innere Oberfläche des Mostes und fördern die Entgasung des CO₂ während der Gärung.

Sobald die Hefe nach der stürmischen Wachstumsphase zu Boden sinkt, bedarf es einer kontinuierlichen CO₂-Entbindung, da hohe CO₂-Konzentrationen die Gärintensität der Hefe verlangsamt und sogar zum Einstellen bringen kann, was bei der Süßreserveherstellung nach dem Seitz-Böhi-Verfahren genutzt wird. Trotz zahlreicher Versuche mit Stoffen zur Erhöhung der inneren Oberfläche, hat sich bisher

noch kein optimaler Ersatz gefunden: Während Bentonit, Perlite, Kieselgur und auch Cellulosefasern leicht absinken und die Hefe bedecken, sind besser suspendierte Heferindepräparate noch zu teuer für den routinemäßigen Einsatz.

Temperatur

Oftmals treten Gärstörungen parallel mit einem plötzlichen Temperaturabfall im Gärkeller auf, insbesondere wenn in kleinen Gärtanks die Kellertemperatur rasch die Temperatur im Gebinde beeinflusst. Da der gebildete Alkohol bereits die Enzymaktivität der Hefe stark beeinträchtigt, ist oftmals eine rasche Temperaturerhöhung notwendig, um die Stoffwechselaktivität der Hefe zu fördern. Geschieht die Temperaturerhöhung sofort nach der Gärverlangsamung, etwa durch die Nutzung eines beheizbaren Rotweinmaischetanks, kann oftmals ohne weiteren Aufwand ein hoher Endvergärungsgrad erzielt werden.

Alkoholtoxizität

Das Überleben der Hefen wird maßgeblich durch den gebildeten Ethanol gehemmt: Die Alkoholtoxizität beruht auf zwei Phänomenen:

- Inaktivierung der Zuckertransportenzyme
- Verflüssigung der Membran

Die Zuckeraufnahme durch die Hefe erfolgt durch Transportenzyme, die nur sehr schwach die Zucker aus dem Gärmedium binden können. Ferner besitzen sie nur eine kurze Lebensdauer und zeigen nach 5 – 9 Stunden nur noch die Hälfte ihrer Aktivität. Daher bedarf es in der stationären Phase einer ständigen Neubildung dieser Enzyme, wofür trotz eingestelltem Wachstum die ausreichende Stickstoffversorgung der ausschlaggebende Faktor ist. Daher sollte die Stickstoffnachlieferung durch Gärtsalze erst zum Beginn der stationären Phase erfolgen. Neben der Stickstoffverfügbarkeit nimmt der steigende Alkoholgehalt Einfluß auf die Zuckeraufnahme, da Ethanol und Fuselalkohole das Zuckertransportsystem hemmen.

Das Hauptproblem der Hefe während der Gärung ist die Steuerung der Membranfluidität.

- Liegt durch hohe Temperaturen eine zu flüssige Membran vor, kann durch die Veränderung der Fettsäurespektrums eine sehr dichte feste Membran erzeugt werden.
- Bei tiefen Temperaturen hingegen muss die Durchlässigkeit der Membran erhöht werden, indem verzweigte Fettsäuren größere Zwischenräume schaffen. Zur Bildung verzweigter Fettsäuren wird Sauerstoff benötigt, so dass Hefen in kalt vergorene Weine einen höheren Bedarf an Sauerstoff haben.
- Wird die Membran jedoch während der anaeroben Phase durch den steigenden Ethanolgehalt verflüssigt, fehlen der Hefe die Nährstoffe und der Sauerstoff, um die energetisch sehr aufwendige Fettsäuresynthese durchzuführen. Als Folge verliert die Membran ihre Selektivität und es kommt zu einer
 - ⇒ verminderten Aufnahme von Zucker, Ammoniumionen und Aminosäuren,
 - ⇒ sowie einer schlechteren Entsorgung des giftigen Ethanols aus der Zelle.
 - ⇒ Ferner dringen aus dem sauren Wein H^+ -Ionen in das Cytoplasma der Hefe und senken den pH ab. Dies führt zur Inaktivierung vieler biochemischer Vorgänge, da die Enzyme nur bei dem hohen pH von 6 - 7 optimal arbeiten können. Wird die Membranfluidität bereits bei hohen Restzuckerwerten stark gestört, kommt es zu Gärstörungen, die kaum zu beheben sind.

Was kann aber der Winzer tun, um die Hefe aus dieser schier ausweglosen Lage zu befreien?

Sauerstoffverfügbarkeit

Während der aeroben Atmungsphase, die 18 mal mehr Energie pro Glucosemolekül liefert als die Gärung, legt sich die Hefe einen Vorrat aus membranerhaltenden Molekülen an. Es handelt sich hierbei um das Ergosterol und eine Reihe von ungesättigten Fettsäuren, d. h. Fettsäuren mit Doppelbindungen. Diese werden in den Mitochondrien gespeichert und können später zum Aufbau neuer und dem erhöhten Ethanolgehalt angepaßten Membranen genutzt werden. Die Anreicherung dieser Membranlipide während der Wachstumsphase wird durch den vorhandenen Sauerstoffgehalt begrenzt.

Reinzuchthefen werden daher in extrem gut belüfteten Fermentern herangezogen, so dass sie eine gute Fettsäure- und Ergosterolausstattung mitbringen. Um das hefeeigene Reservoir aber zusätzlich zu erhöhen, kann man sich der in Kapitel 5.1 Herstellung eines optimalen Hefeansatzes auf Seite 64 bedienen.

Eine oxidative Behandlung des gesamten Mostes, etwa im Rahmen der Flotation, zeigt nur begrenzte Wirkung, da nach der Klärung der meiste Sauerstoff durch die Phenoloxidation aus dem Most entfernt wurde, bevor die Hefe Zugriff erhält. Diese Vorgehensweise ist besonders bei der Bereitung von Hefen für die Verseltung ratsam, da die Hefen im Grundwein mit einem geringen Stickstoffgehalt konfrontiert werden, der nur im begrenzten Maße durch Gärtsalze angehoben werden darf.

Eine andere Praxis des Sauerstoffeintrages besteht in der kurzzeitigen Zuführung von 5-10 mg/l Sauerstoff am Ende des Zellwachstums nach etwa 30 Stunden. Der Sauerstoff trifft im Gegensatz zu der vorherigen Praxis des Hefeansatzes auf das Maximum an Hefezellen und wird daher sehr rasch verbraucht und kann denn gärenden Wein nicht schädigen.

Weitung des Glucose-Fructose-Verhältnisse

Im Traubenmost liegen die beiden Zucker Glucose und Fructose etwa zu gleichen Mengenanteilen vor. Die meisten Weinhefen besitzen eine ausgeprägte Vorliebe für die Glucose und während der Gärung kommt es zu einem rascheren Abbau der Glucose gegen über der Fructose.

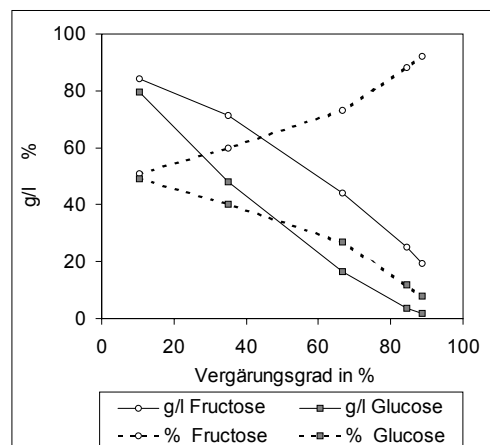


Abb. 3: Weitung des Glucose-Fructose-Verhältnisses während der alkoholischen Gärung in einem pfälzischen Riesling

Während zu Beginn der Gärung ein Glucose-Fructose-Verhältnis von 1 : 1 vorliegt, weitet es sich mit dem Fortschritt der Gärung und erreicht gegen Ende der Gärung ein Verhältnis von 1 : 9. Je weiter das Glucose-Fructose-Verhältnis, umso schwieriger gestaltet sich die Aufnahme der vermehrt vorliegenden Fructose, und die Gärung kann bei beträchtlichen Restzuckergehalten zum Erliegen kommen. Wird durch gezielte Glucosezugabe oder durch den Verschnitt mit Traubenmost, in dem beide Zucker in gleichen Mengen vorliegen, das Glucose-Fructose-Verhältnis auf 1:2

angehoben, kann die Gärung wieder in Gang gebracht werden. Leider sind in Deutschland diese Maßnahmen rechtlich nicht erlaubt.

Gifte von Killerhefen und dem Hefestoffwechsel

Ein interessantes Phänomen ist das Auftreten von Killerhefen, die das Wachstum von vielen Reinzuchtheften beeinträchtigen können. Drei praktische Folgerungen sind daraus abzuleiten:

1. Man sollte nie zwei Reinzuchtheften gleichzeitig in einem Most einsetzen, da die eine Rasse ein Toxinbildner sein könnte und die zweite hemmen könnte. Ferner zeigen Gärungen solcher Mischkulturen eine erhöhte H₂S - oder Essigsäureproduktion. Eine Ausnahme sind die umfangreich getesteten Reinzuchthefer-Mischkulturen, wie etwa die Varioferm, die unter wissenschaftlicher Federführung entwickelt wurden.
2. Kann man im Kleinversuch eine steckengebliebene Gärung durch den Einsatz von Bentonit oder Aktivkohle wieder aktivieren, liegt der Schluß nahe, dass das durch die Schönungsmittel entfernte Toxin eine wichtige Ursache für den Gärstopp war.
3. Zum erneuten Angären sollte eine killerresistenter Hefestamm eingesetzt werden, etwa die Stämme Lalvin E oder Boeroferm W.

Aber nicht nur die Killerhefen, sondern alle Heferassen geben während ihres Stoffwechsels kurzkettige Fettsäuren an das Gärmedium ab, die auf die Hefe giftig wirken. Hier haben sich Heferindenpräparate als sehr nützlich erwiesen, diese lipophilen Fettsäuren zu absorbieren und somit ihren Gehalt im gärenden Wein zu vermindern.

Die Heferinden verbessern eindeutig die Überlebensfaktoren der Hefe, da bereits eine Gabe von 20 g/hl die Anzahl der Lebendhefen am Ende der Gärung stark erhöhen und dadurch einen höheren Endvergärungsgrad gewährleisten. Handelt es sich um komplexere Heferindenpräparate, denen auch autolyseierte Hefen und Gärtsalze zugegeben wurden, so versorgen sie den Most oder Wein auch mit wichtigen Hefenährstoffen.

2.2 Regulation des Zuckertransports in der Hefe

Die Abnahme der Gärintensität ist klar korreliert mit einer Abnahme der Fähigkeit zur Zuckeraufnahme, während die eigentliche Gärung, sprich die Verarbeitung der Zucker zu Alkohol (Glykolyse) in der Hefezelle weiterhin gut funktioniert. Anhand von Hefestämmen, die ein Mehrfaches des normalen Chromosomensatzes besaßen (Ploidie), konnte belegt werden, dass die in der Hefemembran lokalisierten Transportkapazitäten die CO₂-Entwicklung bestimmten und die Konzentrationen intrazellulärer Enzyme. Dies ist daher verständlich, da innerhalb der Hefezelle frei vorliegende Glucose toxisch wirkt und eine uneingeschränkte Glucoseaufnahme bei unzureichendem Abbau der Glucose die Hefe von innen her vergiften würde. Davor schützt sich die Hefe, indem sie die Aufnahme der Glucose vermindert, sobald der Abbau der Glucose innerhalb der Zelle verlangsamt wird. Die Verlangsamung des Zuckerabbaus aber kann sowohl durch Faktoren im Innern der Hefezelle, als auch durch widrige Lebensbedingungen im gärenden Wein ausgelöst werden. Dazu zählen in erster Linie der Mangel an Hefenährstoffen, wobei zwischen primären Nährstoffen wie Stickstoff oder Phosphat und sekundären Nährstoffen wie Mangan oder Thiamin unterschieden wird. Niedrige pH-Werte setzen die Hefe ebenso einem Stress aus, wie extrem hohe oder niedrige Temperaturen, ein Ungleichgewicht der Kationen im Wein und eine zu hohe Konzentration der Kohlensäure (oberhalb von 0,2 bar Druck), die meist durch eine mangelhafte CO₂-Entbindung aufgrund einer zu geringen inneren Oberfläche und eines zu hohen statischen Drucks durch sehr hohe Gärtanks verursacht wird. Eine mangelnde Sauerstoffversorgung senkt die Widerstandsfähigkeit der Hefe gegen Ethanol, der in steigenden Konzentrationen ebenso toxisch wirkt, wie

Acetaldehyd. Aber auch andere toxische Stoffe, z. B. mittelkettige Fettsäuren oder die Toxine sogenannter Killerhefen behindern den Zuckerabbau.

Die Abhängigkeit der Zuckeraufnahme vom Zuckerabbau wurde noch vor wenigen Jahren damit begründet, dass die Zuckeraufnahme viel langsamer vonstatten geht, als die Phosphorylierung der Zucker zu Beginn der Glykolyse und ihr weiterer Abbau. Heute hingegen weiß man, dass ein kompliziertes Regelungssystem die Zuckeraufnahme exakt auf die Verarbeitungskapazitäten der Hefe abstimmt.

2.2.1 Zuckertransporter der Hefe

Aufgrund des hohen biochemischen Verwandtschaftsgrades von Hefen und Menschen wurde im letzten Jahrzehnt die Forschung über den Zuckertransport der Hefen großzügig gefördert, um aus dem Modellsystem *Saccharomyces cerevisiae* Rückschlüsse auf die molekularen Ursachen der Diabetes zu erhalten, einer der verbreitetsten Zivilisationskrankheiten, die auf einer Störung der Blutzuckerregulierung beruht. Die Familie der Hexosetransporter in der Hefe umfasst 18 Mitglieder, die sich sehr ähnlich sind. Die Proteine der Hexosetransporter durchstoßen 12 mal die Hefemembran und man geht davon aus, dass diese Regionen zusammen eine Art Kanal durch die Membran bilden. Aus der Tatsache, dass einige der Familienmitglieder Glucose sehr langsam, andere wiederum sehr rasch aufnehmen, kann geschlossen werden, dass ein Zuckertransporter sowohl langsam als auch rasch arbeiten kann und damit flexibel auf die Veränderungen im Gärmedium reagieren kann. Wird die Ausbildung dieses flexiblen Transporterproteins genetisch verhindert, verlangsamt sich die Gärung, was die Bedeutung dieses Transporterproteins für Gärstörungen eindeutig belegt. Zur Steuerung des Zuckertransportes besitzt die Hefe spezielle Sensoren, die entweder auf hohe oder niedrige Zuckerkonzentrationen ansprechen und im Folgenden die Bildung von Transporterproteinen auslösen. Eine Schlüsselfunktion in der Regulierung des Zuckertransportes spielt die Glucose selbst: Die Bildung einiger Zuckertransporter werden direkt durch hohe Glucosekonzentrationen ausgelöst und wird bei sinkenden Konzentrationen wieder gestoppt. Die Bildung anderer Zuckertransporter werden genau umgekehrt durch hohe Glucosewerte unterbunden und sie wird erst dann angestoßen, wenn die Glucosekonzentration deutlich abgenommen hat. Die Bildung des in der Zuckeraufnahme variierbaren Transporters (HXT2) wird sowohl durch Glucose gefördert als auch unterdrückt, so dass er besonders bei niedrigen Glucosekonzentrationen wirksam ist.

Andere Hefen als *Saccharomyces cerevisiae* besitzen weit weniger Gene zur Ausbildung von Transporterproteinen und es stellt sich die Frage, wofür *Saccharomyces*-Hefen überhaupt 12 verschiedene Zuckertransporter benötigen. Grundsätzlich funktioniert die Aufnahme von Glucose und Fructose nach dem Prinzip der unterstützten Diffusion, d. h. es wird keine Energie aufgewandt und es kann in der Hefe keine höhere Zuckerkonzentration aufgebaut werden als im Gärmedium, da die Zuckermoleküle über die gleichen Transporter wieder aus der Hefe geschleust werden können wie sie in die Hefe gelangt sind. Der Vorteil der unterstützten Diffusion besteht darin, dass keine Energie verbraucht wird, ihr Nachteil ist, dass sie nur innerhalb eines geringen Konzentrationsbereiches optimal funktionieren.

2.2.2 Bindung von Zucker an Zuckertransporter

Die Einschleusung des Zuckers in die Hefezelle setzt voraus, dass das Zuckermolekül sich an das Transportprotein bindet und es von diesem auch chemisch als Zucker erkannt wird. Die Zuckertransporter, die noch bei geringen Konzentrationen funktionieren und daher ein hohes Bindungsvermögen besitzen, haben eine offene Molekülstruktur, die mehrere Bindungsstellen anbietet. Somit können diese Transporter das Zuckermolekül anhand verschiedener Eigenschaften erkennen und daher ist es unwichtig, ob der Zucker sich mit seinem C₁-Ende an das Protein andockt oder von der umgekehrten Seite mit seinem C₆-Ende. Ist der Zucker als solcher erkannt, verändert das Protein sich derart, dass das Zuckermolekül durch die Membran geschleust und im Zellinnern freigegeben wird. Damit die Zu-

ckermoleküle durch die Membran geschleust werden können, darf diese nicht zu zähflüssig sein, so dass das Transporterprotein seine Struktur nach dem Erkennen des Zuckermoleküls verändern kann, aber nach der Abgabe des Zuckermoleküls im Zellinnern wieder in seine ursprüngliche Struktur (Konfiguration) zurückkehren kann, um erneut ein Zuckermolekül binden zu können. Daher ist die Membranviskosität ein sehr wichtiges Kriterium für eine störungsfrei Vergärung. Mit dem Ansteigen der Alkoholkonzentration im Gärmedium verflüssigt sich die Membran zusehends. Während einige Zuckertransporter damit gut zurecht kommen, scheinen andere ihre Aktivität einzuschränken.

Bei hohen Zuckerkonzentrationen werden die Zuckertransporter mit einer offenen Struktur dadurch blockiert, dass mehr als ein Zuckermolekül gebunden wird und damit die notwendige Strukturveränderung des Transporterproteins verhindert, die die Einschleusung des Zuckermoleküls in die Zelle bewirkt. Daher benötigen osmotolerante Hefen, die auch in hohen Zuckerkonzentrationen Zucker aufnehmen können, Transporter mit einer geschlossenen Struktur, die nur an einer Stelle Zucker binden können. Somit ist die Assoziation von mehr als einem Zuckermolekül von vorneherein ausgeschlossen. Damit sinkt aber auch ihre Bindungsvermögen (Affinität) und sie funktionieren nur bei hohen Zuckerkonzentrationen. Sinkt die Zuckerkonzentration während der Gärung ab, reicht ihr schwach ausgeprägtes Bindungsvermögen nicht mehr aus, um Zucker zu binden und damit auch in die Zelle schleusen zu können. Es wird daher vermutet, dass die Saccharomyceten deswegen so viele verschiedene Zuckertransporter besitzen, um über einen sehr weiten Konzentrationsbereich den passenden Zuckertransporter einsetzen zu können. Die direkte Kopplung der Ausbildung der verschiedenen Zuckertransporter mit der Glucosekonzentration im Gärmedium stellt sicher, dass der Saccharomyceshefe zu jedem Zeitpunkt der Gärung der passende Zuckertransporter zur Verfügung steht.

Als zweiten Grund für die Existenz einer Vielzahl von Transporterproteinen für die gleiche Aufgabe, nämlich das Durchschleusen von Glucose durch die Zellmembran, wird die rasche Adaption der Hefe auf schnell wechselnde Zusammensetzungen des Gärmediums angenommen. Liegen mehrere aktive Transportproteine vor, so kann durch die Ausschaltung nur einer Spezies viel rascher auf eine neue Situation, etwa steigenden Alkoholgehalt im Gärmedium, reagiert werden, als wenn ein einziger, universaler Zuckertransporter in seiner Aktivität verlangsamt oder beschleunigt werden muss.

2.2.3 Regulation der Gärung über den Zuckertransport

Der Zuckertransport reguliert maßgeblich bei der Hefe die Gärintensität. Verschlechtern sich die Bedingungen im Gärmedium, so reagiert die Hefe mit der Stilllegung von Zuckertransportern. Dieses Stilllegen findet in der Vakuole der Hefe statt, wo die Transporterproteine von einem speziellen Enzymkomplex abgebaut werden. Interessanterweise führt eine Blockierung dieses Abbauprozesses zum Absterben der Hefezelle. Somit ist ein ungebremster Zuckerabbau in der Hefe, der die verschlechterten Bedingungen im Gärmedium ignoriert, direkt toxisch für die Hefe. Damit wird aber auch aufgezeigt, dass die gentechnische Erhöhung der Aktivität von Zuckertransportern oder zumindest die Vermeidung ihres Abbaus kein Lösungsansatz für die Vermeidung von Gärstörungen darstellt, da dies zum sicheren Zelltod der Hefen führen würde. Viel wichtiger erscheint es, die Wechselwirkung zwischen einzelnen Substanzen im Gärmedium und den Zuckertransportern sowie ihrem Abbau zu studieren.

2.2.4 Ursachen der bevorzugten Glucoseaufnahme durch die Hefe

Wettbewerbsstudien haben gezeigt, dass Glucose und Fructose von den gleichen Transporterproteinen eingeschleust werden und es zu einer wechselseitigen Einschränkung (Inhibierung) der Zuckerspezies am Transporterprotein kommt. Obwohl die Bindungsfähigkeit (Affinität) der Glucose 2,5 bis 5 mal höher ist als die für Fructose, ist die eigentliche Transportgeschwindigkeit für die Fructose durch die Hefemembran höher als für Glucose. Somit ist die verlangsamte Fructoseaufnahme durch die schwächere Bindungsfähigkeit an den Zuckertransporter zurückzuführen. Diese wird damit begründet, dass der

Zuckertransporter beide Zuckerspezies bevorzugt in der Konfiguration eines Sechserings (Pyranose) transportiert. Während Glucose ausschließlich in dieser Konfiguration vorliegt, kommt Fructose nur zu etwa 30 % als Sechsering vor und liegt zum Großteil als Fünfering (Furanose) vor. Damit liegt die tatsächlich bindungsfähige Konzentration der Fructose deutlich unter ihrer Gesamtkonzentration. Als Folge der rascheren Glucoseaufnahme senkt sich das Glucose-Fructose-Verhältnis mit Fortschritt der Gärung. Die Hefe versucht diese Veränderung dadurch auszugleichen, indem sie von dem Enzym Hexokinase II auf das Enzym Hexokinase I umstellt, die bevorzugt Fructose zu Glucose umlagert. Dadurch wird gewährleistet, dass, trotz stärkerer Fructoseaufnahme gegen Ende der Gärung, innerhalb der Hefe ein unvermindert starker Glucosestrom aufrecht erhalten wird. Es konnte nachgewiesen werden, dass Hefestämme, die nur beschränkt Hexokinase I bilden können, stärker zu Gärstörungen neigen. Leider liegen keine detaillierten Studien über alle Zuckertransporter vor und es wird durchaus spekuliert, dass einige von ihnen fructophil sind. Dies ist nicht zuletzt deswegen anzunehmen, da die Mehrzahl der Weine trotz weitem Glucose-Fructose-Verhältnis auch die Fructose komplett vergären.

Insgesamt konnte eindeutig die zentrale Bedeutung der Zuckertransporter für die Regulierung der Gärintensität aufgezeigt werden. Verluste in der Transportkapazität konnten ebenso klar mit verlangsamten oder abgebrochenen Gärungen in Verbindung gebracht werden. Die Abnahme der Zuckeraufnahme ist ein wichtiger Überlebensfaktor, um die Hefe zu hohen und damit giftigen Zuckerkonzentrationen im Zellinneren zu schützen.

2.3 Einflussfaktoren auf die Gärintensität

Eine Reihe von verschiedenen Parametern wurden in der wissenschaftlichen Literatur benannt, die einen Einfluss auf die Gärintensität und damit auf das Auftreten von Gärstörungen zeigen: Nährstoffmangel, Ethanoltoxizität, Toxizität von organischen Säuren und Fettsäuren, Präsenz von Killerfaktoren sogenannter Killerhefen und anderer Toxine mikrobieller Herkunft, Ungleichgewicht in der Kationenkonzentration, extrem hohe oder niedrige Temperaturen, Rückstände von Fungiziden und Insektiziden, mikrobielle Konkurrenz und letztendlich auch kellerwirtschaftliche Fehler wie zu hohe SO_2 -Gaben, zu starke Vorklärung und zu starke Temperatursprünge. Diese Faktoren können synergetisch zusammenwirken, d. h. die Kombination von zwei oder mehreren Faktoren können in ihrer Wirksamkeit die der einzelnen Faktoren bei weitem überschreiten. So werden die unteren und oberen Temperaturgrenzen, die von der Hefe bei der Vergärung noch akzeptiert werden, sehr stark von den Konzentrationen des Alkohols, der Fettsäuren und der organischen Säuren im Gärmedium beeinflusst. Insgesamt ist sowohl die Alkohol- als auch die Temperaturtoleranz stark abhängig von der Heferasse. Die korrekte Diagnose der Ursachen für Gärstörungen sucht somit nicht nach einzelnen Ursachen, sondern muss insbesondere die Kombination verschiedener Faktoren betrachten.

2.3.1 Nährstoff- und Vitaminmangel

Nährstoffmangel gehört ohne Zweifel zu den am besten charakterisierten Ursachen der Gärstörungen. Dabei gilt es, zwischen den Wachstumsfaktoren, die während der aeroben Vermehrungsphase der Hefen vor dem Beginn der Gärung wichtig sind und den Überlebensfaktoren zu unterscheiden, die während der stationäre anaeroben Phase der Gärung die Aufrechterhaltung des Zuckerabbaus gewährleisten. Wachstums- und Überlebensfaktoren können die gleichen Nährstoffe beinhalten, da etwa der Stickstoff sowohl für das Wachstum, als auch die Aufrechterhaltung der Gärintensität unverzichtbar ist. Die Überlebensfaktoren umfassen eine Energiequelle in Form von Zuckern, Stickstoff zur Neubildung von abgebauten Zuckertransportern (siehe Kapitel 2.1.2) und die Summe der Substanzen, die der Hefe helfen, die Ethanoltoxizität abzumildern. Hierbei spielen insbesondere langkettige ungesättigte und gesättigte Fettsäuren sowie das Ergosterol eine Rolle. Ethanol verändert nicht nur die Membranviskosität und damit wichtige Transportprozesse durch die Membran, sondern im Zellinnern verändert es die wässrige Umgebung der Enzyme, so dass diese nicht mehr korrekt arbeiten können. Um die lebenswichtige Funktion der Enzyme vor dem schädlichen Einfluss des Alkohols zu schützen, spielen sowohl das Polysaccharid Trehalose als auch die Aminosäuren Prolin und Glycin eine Rolle. Während Glucose, aus der Trehalose gebildet wird, und Prolin im Überschuss im Most vorliegen, kann es zu Mangelerscheinungen des Glycins kommen. Somit muss dem Glycin, insbesondere bei dem hohen Zuckergehalt und der verminderten Aminosäureausstattung von botrytisierten Weinen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die am häufigsten genannten Hauptnährstoffe der Hefe, die auch als Ursachen von Gärstörungen diskutiert werden, sind Stickstoff und Phosphat. Jedoch auch der Mangel an in Spuren vorkommenden Nährstoffen können Gärstörungen hervorrufen, ebenso wie ein Mangel an Sauerstoff. Ein spezifischer Nährstoffmangel führt zu einer verminderten Biomassebildung, verringerter Gärintensität und letztendlich auch zu Gärstörungen.

Obwohl viele Enzyme und Proteine während der stationären Phase an Aktivität einbüßen, halten die Zuckertransporter ihre Aktivität konstant. Daher ist eine fortlaufend gute Stickstoffversorgung der Hefe eminent wichtig, um die ständige Neubildung der Zuckertransporter zu gewährleisten. Da ein steigender Ethanolgehalt die Aufnahme von Aminosäuren und anderer Stickstoffquellen zunehmend behindert, muss zu einer früheren Phase ausreichend Stickstoffkomponenten aufgenommen worden sein, die in der Vakuole für den späteren Verbrauch gespeichert werden. Es konnte gezeigt werden, dass eine Aminosäureaufnahme während der stationären Phase die Gäraktivität verlängert, während dies in einer

anderen Studie für Ammonium nicht zutraf. Aus den Aminosäuren kann sehr rasch die abgebauten Zuckertransportern wieder neu synthetisiert werden. Die Aminosäure mit dem größten Effekt war Glycin, obwohl sie nur ein sehr mageres Stickstoffangebot für die Hefe liefert. Bezüglich des Stickstoffbedarfs in der stationären, sprich in der eigentlichen Gärphase, unterscheiden sich die verschiedenen Hefestämme weitaus stärker als bezüglich ihres Stickstoffbedarfs in der Wachstumsphase. Die einzelnen Stickstoffquellen müssen in einem ausgewogenen Verhältnis für eine gutes Hefewachstum und eine optimale Vergärung vorliegen.

Als zweiter Nährstoff spielt Phosphat eine große Rolle, da er maßgeblicher Bestandteil des energieübertragenden Coenzymsystems Adenosintriphosphat (ATP) ist. Unbalancierte Verhältnisse von Adenosinmonophosphat (AMP) zu ATP und Adenindiphosphat (ADP) zu ATP spielen eine Schlüsselrolle bei der Regulation des Glucoseabbaus, da an drei Schritten innerhalb des Glucoseabbaus zu Ethanol ein Zwischenprodukt unter Verbrauch von ATP phosphoryliert wird und damit erst die Voraussetzung erhält, gespalten zu werden oder einen wichtigen Molekülbestandteil abzuspalten. Unterbleibt diese Phosphorylierung aufgrund eines genetischen Defekts, nimmt die Glucoseaufnahme dramatisch ab.

Mineralstoffe und Kationen unterstützen die glucoseabbauenden Enzyme als sogenannte Co-Faktoren. Hierzu zählen Magnesium, Zink und Mangan. Ein Mangel an Calcium verringert die Alkoholtoleranz der Hefen, und hohe Mangangehalte unterdrücken die Magnesiumaufnahme und umgekehrt. Ferner konnten Gärstörungen in Verbindung gebracht werden mit sehr niedrigen pH-Werten bei niedrigen Kaliumgehalten, was bei Trockenstandorten häufiger der Fall ist (Kudo et al., 1998).

Sacchormyces Hefen können alle essentiellen Vitamine selbst bilden mit Ausnahme des Thiamins oder Vitamin B₁, das sowohl wachstumsfördernd als auch gärunterstützend wirkt. Das in der Traube gebildete Thiamin kann nicht nur durch *Botrytis cineria* stark angereichert werden, sondern auch innerhalb weniger Stunden durch *Kloeckera apiculata*, der am häufigsten vorkommenden wilden Hefe im Most, die zudem sehr kältetolerant ist. Ferner behindert die Präsenz von Essigsäure die Aufnahme des Thiamins durch die Hefe und führt indirekt zu einem Vitamin B₁-Mangel. Insofern sind gerade Moste aus faulem Lesegut und nicht ausreichend mit Reinzuchthefen beimpfte Moste prädestiniert für Gärstörungen, denn *Botrytis* dezimiert bereits das Thiamin, erhöht den Besatz mit wilden Hefen und Essigsäurebakterien, die ihrerseits ebenfalls Thiamin verbrauchen und die Nutzung des verbliebenen Thiamins durch die Hefe behindern. Hinzu kommt, dass eine Bentonitschönung bis zu 90 % des natürlichen Thiamins aus dem Most entfernen kann und auch die SO₂ aus der Mostschwefelung Thiamin abbindet und der Aufnahme durch die Hefe entzieht. Dieser Ursachenkomplex ist ein gutes Beispiel, wie verschiedene Faktoren synergetisch zusammenwirken können. Daher sollte in jedem Falle das Gärmedium nach der Mostbehandlung mit der zulässigen Höchstmenge von Vitamin B₁ versorgt werden.

Die Aufnahme der Nährstoffe wird durch eine Vielzahl von störenden Komponenten behindert, etwa durch die Essigsäure. Pflanzen bilden eine Reihe solcher inhibierend wirkender Substanzen wie etwa die Phytoalexine, die die Rebe vor pilzlichen Krankheiten schützt. Eine Gruppe von Phytoalexinen werden aus Phenylalanin gebildet und daher verwundert es kaum, dass eine Reihe von Giften der Schimmelpilze (Mycotoxine) die Biosynthese des Phenylalanins unterbindet. Während in gut versorgten Gärmedien die Hefe nicht anfällig gegenüber Mycotoxinen sind, kann ihre Empfindlichkeit deutlich ansteigen, wenn im Most ein Mangel an Phenylalanin vorliegt. So konnte in einer Studie bereits eine positive Beziehung zwischen Phenylalaninmangel und Gärstörungen nachgewiesen werden. Es ist durchaus vorstellbar, dass diese Beziehung durch ein Mycotoxin verursacht wurde, das die Biosynthese des Phenylalanins unterbindet.

2.3.2 Alkoholtoxizität und die Bedeutung von Überlebensfaktoren

Eine Hauptursache für Gärstörungen ist die toxische Wirkung von Ethanol gegenüber der Hefe. Ethanol hat eine sehr vielschichtige Wirkung auf die Viskosität der Hefemembranen. Während Ethanol die Polarität des Wassers absenkt, da es selbst unpolarer als Wasser ist, erhöht Ethanol die Polarität in einer unpolaren Umgebung im Innern der Hefemembran, da er selbst polarer als die Fettsäuren ist. Die Hefezelle reagiert auf steigenden Ethanolgehalt durch eine Verdoppelung der ungesättigten Fettsäuren und eine bis zu 18-fache Anhebung der Ergosterol-Konzentration. Gleichzeitig nehmen in der Hefemembran gesättigte Fettsäuren deutlich ab, ebenso der Proteingehalt.

Für die toxische Wirkung des Alkohols gibt es zwei Erklärungen, wobei die zweite immer mehr an Bedeutung gewinnt. Dringt Ethanol in die Hefemembran ein, kommt es zu einer Verflüssigung der Membran, die Viskosität nimmt ab und viele Transportvorgänge können nicht mehr korrekt ablaufen. Dem wirkt die Hefe u.a. durch die vermehrte Bildung ungesättigter Fettsäuren entgegen. Diese Theorie wird aber mehr und mehr angezweifelt, da es unwahrscheinlich ist, dass eine relativ polare Substanz wie Ethanol in eine sehr unpolare Umgebung, wie sie im Innern der Hefemembran vorliegt, in nennenswertem Maß eindringen kann. Demgegenüber bieten die Phospholipide, die an der polaren Außenseite der Hefemembran liegen, gute Anlagerungsmöglichkeiten. Es wird daher verstärkt angenommen, dass der gebundene Ethanol an den Phospholipiden gebunden wird und dort über verschiedene Effekte, u.a. durch Ausbildung von Wasserstoffbrücken, die Funktionsweise der Hefemembran behindert.

Das Ausmaß der Alkoholtoxizität hängt sowohl von der Heferasse ab, als auch von dem Angebot an Sterolen, langkettigen ungesättigten und gesättigten Fettsäuren. Diese Moleküle können kaum unter anaeroben Bedingungen durch die Hefe neu gebildet werden. Beide an der Bildung maßgeblich beteiligten Enzyme, die Fettsäure-Desaturase und die Squalenoxidase, benötigen molekularen Sauerstoff als Elektronenakzeptor. Die Hefe kann sowohl Fettsäuren aus dem Most als auch Pflanzensterole verarbeiten. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass das Hauptsteroid der Traube, die Oleanolsäure nicht den Bedarf der Hefe nach Ergosterol kompensieren konnte. Dies ist nicht sonderlich überraschend, da die räumliche Struktur der Oleanolsäure nicht die Aufgaben des Ergosterols in der Hefemembran übernehmen kann. Auch andere Pflanzensterole konnten zwar allgemeine Aufgaben der Sterole in der Hefe ersetzen, nicht aber die spezifische Rolle des Ergosterols in der Regulation und Kontrolle von Protein- und Membranfunktionen. So waren die Pflanzensterole vergleichsweise weniger förderlich als das Ergosterol bei der Ausbildung einer alkoholtoleranten Membran, was eine verlangsamte Gärung zur Folge hatte. Somit kann einem erhöhten Trubgehalt, der vornehmlich aus Bruchstücken der Traube besteht, keine positive Wirkung auf die Hefemembran attestiert werden, während dies für die Heferinden zutrifft, da sie Ergosterol enthalten und an die Hefe abgeben können.

Liegt ein Mangel an Fettsäuren vor, ist die Hefe in der Lage, diese von zellinternen Membranen, etwa denen der Mitochondrien, zu beziehen. Dies führt zwangsläufig zu einer geringeren mitochondrialen Aktivität und reduzierten Fähigkeit zur Atmung. Aktuelle Ergebnisse legen nahe, dass die sogenannten Überlebensfaktoren sehr wichtig für die Aufrechterhaltung der Gärung sind, obwohl offensichtlich der entscheidende Schritt, die Zuckeraufnahme, kaum durch steigende Alkoholgehalte behindert werden.

Wieso wirkt der Alkohol toxisch in der Hefezelle? Primär beruht die Ethanoltoxizität auf der erhöhten Rate der einströmenden H^+ -Ionen, die es für die Zelle immer schwieriger macht, den physiologischen pH-Wert von pH 6 aufrecht zu erhalten, der für die optimale Funktion der Enzyme sehr wichtig ist. Die Leckage der Membran wird weniger auf die graduelle Verflüssigung der Zellmembran zurückgeführt, sondern auf die zerstörende Wirkung des Ethanols auf die Proteinstruktur der Membran. Neueste Forschungsergebnisse widersprechen hingegen der Hypothese, dass die Absenkung des zellinternen pH-Wertes die Ethanoltoxizität begründet, da in den Hefen bereits der Zelltod beobachtet werden konnte,

bevor sich ihr pH-Wert signifikant absenkte. Daher muss die ethanolinduzierte Proteindenaturierung und das Ausströmen von Zellinhaltsstoffen bereits einen toxischen Effekt haben.

Alkohol beeinflusst auch den Transport anderer Ionen wie Magnesium oder Calcium, die ebenso an der Toxizität beteiligt sein können wie die ethanolinduzierte Denaturierung von Enzymen im Cytoplasma. So könnte Alkohol die Erkennung, Bindung von Substraten an Transportproteinen und ihre Dynamik der räumlichen Veränderungen behindern, die letztendlich verantwortlich für den Import von Substraten wie Glucose und Fructose in die Hefezelle zeichnen. Während Hefezellen, die in einem Gärmedium mit langsam steigenden Ethanolgehalt leben, sich anscheinend erfolgreich an diese Veränderungen anpassen können, trifft dies nicht auf Hefen zu, deren Gärmedium plötzlich mit Ethanol angereichert wurde. In der Diskussion der Ethanoltoxizität sollte nicht unerwähnt bleiben, dass der direkte Vorläufer des Ethanols, der Acetaldehyd, selbst sehr toxisch ist und einen großen Beitrag zur Erklärung der Ethanoltoxizität liefern kann. Da die Alkoholdehydrogenase, die Acetaldehyd zu Ethanol reduziert, ebenso gut in der umgekehrten Richtung arbeitet und Ethanol zu Acetaldehyd oxidiert, nimmt der Acetaldehydgehalt parallel zur Ethanolkonzentration zu, wobei Acetaldehyd bei weitem giftiger als der Alkohol ist. Tatsächlich konnte bei den ethanolintolerantesten Hefestämmen die geringsten Konzentrationen an Acetaldehyd im Zellinneren gefunden werden.

2.3.3 Niedriger pH-Wert

Im Gegensatz zu anderen Hefen und Bakterien im Allgemeinen, sind *Saccharomyces* Hefestämme relativ tolerant gegenüber niedrigen pH-Werten und wachsen rasch in dem für Wein relevanten pH-Bereich von 2,8 bis 4,2. Unterhalb von pH 2,8 ist nicht nur das Wachstum, sondern auch das Gärvermögen stark eingeschränkt. So sinkt die Toleranz gegenüber Ethanol und mittelkettigen Fettsäuren mit abnehmendem pH-Wert und die pH-Toleranz wird maßgeblich über die Kaliumkonzentration im Gärmedium bestimmt. Während der Gärung scheidet die Hefezelle H^+ -Ionen aus und kann den pH-Wert im Gärmedium um bis zu 0,3 pH-Einheiten absenken.

2.3.4 Extreme Temperaturen

Die Wirkung sehr hoher und niedriger Temperaturen ist vornehmlich auf Veränderungen in der Hefemembran zurückzuführen. Während niedrige Temperaturen die Viskosität der Hefemembran heraufsetzen und damit die Produktivität der Zuckertransporter über die Behinderung der räumlichen Strukturveränderungen der entsprechenden Proteine reduziert, senken hohe Temperaturen die Membranviskosität ab und führen zum Auseinanderbrechen der Proteinstruktur der Zuckertransporter. Da Ethanol und extreme Temperaturen über die gleichen Mechanismen wirken, ist es kaum verwunderlich, dass beide Parameter synergistisch wirken, was z. B. bei der kellerwirtschaftlichen Praxis der Warmfüllung genutzt wird. Umgekehrt muss auch ein starkes Abfallen der Temperatur am Ende einer kräftigen Gärung verhindert werden, indem rechtzeitig die Gärkühlung abgeschaltet wird. Plötzliche Temperatursprünge reduzieren auch die Aktivität zellinterner Enzyme. Ein Hitzeschock, etwa bei der Vorquellung der Hefe bei 35 °C, führt zur Bildung von Stressproteinen, die auch bei der Umstellung auf die anaerobe Gärung am Anfang der stationären Phase vorliegen. Die Fähigkeit der Hefe, Temperaturschocks durch die Bildung solcher Stressproteine abzufangen, ist nicht nur vom Hefestamm abhängig, sondern kann auch stark durch unzureichende Nährstoffversorgung herabgesetzt werden.

2.3.5 Hefetoxine und Killerfaktoren

Eine Reihe von Hefen bilden kleinere Proteine, die als Killerfaktoren identifiziert wurden. Von den drei Killerfaktoren wirkt nur K2 gegen *Saccharomyces* Stämme und führt zu einer Gärstörung. Auch die Nicht-*Saccharomyces* Stämme wie *Hansenula* und *Kluyveromyces* bilden Killerfaktoren, die gegen *Saccharomyces* Stämme wirksam sind, ebenso wie bestimmte *Saccharomyces* Stämme über Gly-

coproteinestrukturen Killerfaktoren gegen andere Saccharomyces Stämme bilden. Grundsätzlich unterscheidet man Hefestämme mit einer sensitiven, neutralen und positiven Reaktion. Die Wirkung der Killerfaktoren sind abhängig vom Verhältnis der killersensitiven, sprich empfindlichen Stämme zu den killerproduzierenden Hefestämmen. Untersuchungen von Gafner zu Folge (Gafner and Schütz, 1996) konnte in der Schweiz keine Korrelation zwischen dem Killerstatus der eingesetzten Reinzuchthefen und dem Auftreten von Gärstörungen beobachtet werden.

Neben Hefen bilden gerade bodenbürtige Bakterien wie Pseudomonas, Bacillus und Streptomyces giftige Substanzen, die das Hefewachstum beeinträchtigen, indem z.B. der Fluß von H^+ , Kalium und Calcium durch die Plasmamembran der Hefe beeinträchtigt wird. Auch die Schimmelpilze auf den Trauben produzieren eine Reihe von Mycotoxinen, die aber in der Regel kaum die Aktivität von Saccharomyces Stämmen beeinträchtigen. Die fungiziden Abwehrstoffe der Rebe hingegen, sogenannte Phytoalexine, könnten durchaus schädlich für die Hefe sein, da sie taxonomisch der gleichen Familie angehört wie die zu bekämpfenden Pilze und daher eine ähnlich Zellwandstruktur aufweisen.

Auch organische Säuren und kleinere bis mittlere Fettsäuren beeinträchtigen den Hefestoffwechsel. Diese Substanzen können sowohl von Bakterien, als auch Saccharomyces und Nicht-Saccharomyces Stämmen gebildet werden. Unter normalen Gärbedingungen sind keine Gärstörungen zu erwarten, aber vergären wilde Hefen und Reinzuchthefen gleichzeitig, können die Fettsäuregehalte ansteigen. Der gebildete Ethanol verschärft deutlich die toxische Wirkung der Säuren, ebenso wie extreme Temperaturen.

Reste fungizider Spritzmittel reduzieren die Vitalität der Hefe, führen aber eher zu einer verlängerten Latenzphase als zu Gärstockungen gegen Ende der Gärung. Einige der Toxine sind zwar nicht giftig, behindern aber den Hefestoffwechsel. Daher ist es sehr wichtig, eine nicht mehr aktive Hefe möglichst komplett zu entfernen, bevor eine Wiederbeimpfung mit einem anderen Hefestamm erfolgt. Zur Reduktion unbekannter Hefetoxine wurde auch schon erfolgreich eine leichte Bentonitschönung (0,5 g/l) durchgeführt.

2.3.6 Konkurrenz durch andere Mikroorganismen

Es hat sich gezeigt, dass Gärungen mit einer anfangs sehr hohen Dichte von Nicht-Saccharomyces Stämmen zum gehäuften Auftreten verlangsamer und gestörter Gärungen führt. Zum Teil ist dies auf die Konkurrenz um Nährstoffe und die Bildung von Hefetoxinen zurückzuführen. Werden Moste gleichzeitig mit Milchsäurebakterien und Hefen beimpft, was außerhalb von Deutschland ein gängige Praxis darstellt, so kann ein erhöhter Bedarf an Nährstoffen und Vitaminen beobachtet werden. Abgebrochene Gärungen können erst dann wieder durch eine Beimpfung mit einem neuen Stamm in Gang gebracht werden, wenn die alte Biomasse entfernt wurde. So wie einige Hefestämme die Entwicklung von Milchsäurebakterienstämme hemmen, können auch umgekehrt Milchsäurebakterien Hefeaktivitäten reduzieren. So gibt es ein Milchsäurebakterium, das vermehrt Gärstörungen bei einer breiten Anzahl von Hefestämmen auslöst. Es erhielt daher den Trivialnamen „grimmiges Lactobacillus“, wurde aber taxonomisch nach seinem Entdecker „Lactobacillus kunkeei“ benannt, wobei Ralph Kunkee, der emeritierte Professor für Mikrobiologie an der University of California, Davis genau das Gegenteil eines grimmigen Zeitgenossen ist.

Mit dem Fortschreiten der Kaltgärungen tritt vermehrt die wilde Hefe Kloeckera apiculata auf, die ein der Saccharomyces ähnliche Toleranz gegenüber niedrigen pH-Werten aufweist, aber gleichzeitig kälteresistenter sind. Dies kann dazu führen, dass die Kloeckera apiculata sich zu, Beginn der Gärung rasch entwickelt und einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der beimpften Saccharomyces Hefe hat. Da sie auch bei niedrigen Temperaturen ethanololerant ist kann sie sehr lange im Gärmedium verbleiben.

2.3.7 Kellerwirtschaftliche Maßnahmen

Eine Vielzahl von kellerwirtschaftlichen Behandlungsmaßnahmen können ebenfalls Gärstörungen provozieren. An erster Stelle wird die starke Vorklärung genannt die zum einen das Angebot an Nährstoffen reduziert, da die Hefe aus dem Trub sowohl ungesättigte Fettsäuren und Sterole aufnehmen kann, als auch Vitamine und Mineralien, die durch Mikroorganismen des Trubes abgesondert wurden. Die Verkleinerung der inneren Oberfläche führt zu einer geringeren CO₂ Entbindung, so dass gerade in höheren stehenden Tanks aufgrund des enormen hydrostatischen Drucks eine für die Hefe tödliche CO₂-Akkumulation auftreten kann. Bei der gekühlten Vergärung der Weine ist nicht nur die absolute Temperatur im Gärgut von Bedeutung, sondern es muss auch beachtet werden, dass die Temperaturdifferenz zwischen der Kühlflüssigkeit und dem gärenden Wein nicht zu groß wird, da es zur lokalen Unterkühlung kommen kann, die den Zelltod der Hefe herbeiführen kann. In Tanks mit großem Durchmesser kann bei einer Außenkühlung mittels Warzenblechen (Pillowplates) das Phänomen auftreten, dass an den Tankwänden die Temperatur zu kühl ist, während sie im Innern der Tanks zu warm wird.

Es stellt sich die Frage, ob die oftmals gegen Ende der Gärung beobachteten hohen Fructosegehalte Symptom oder Ursache von Gärstörungen sind. Mit einer Addition von Fructose zu einer Gärung kann diese zum Stillstand gebracht werden, während die Anhebung des Glucose-Fructose-Verhältnisses mit Glucose über 0,1 eine steckengebliebene Gärung wieder in Gang bringen kann. Es wurde von Schütz und Gafner (1996) vorgeschlagen, dass Gärstörungen aufgrund des weiten Glucose-Fructose-Verhältnisses mit einer reduzierten Hexokinase I Aktivität einhergeht. Es ist nicht klar, ob dies auf einer Substratinhibierung des Zuckertransporters beruht oder nicht.

Ein sehr wenig untersuchtes Feld ist der Einfluss von Traubenenzymen auf den Verlauf der Gärung. So variiert die Aktivität der Polyphenoloxidase sehr stark in Abhängigkeit von Rebsorte und Reifestatus. Im Most konkurriert die Polyphenoloxidase direkt mit der Hefe um den gelösten Sauerstoff. In diesem Zusammenhang wurde schon spekuliert, dass die eigentliche gärfördernde Wirkung einer Mostschwefelung darin besteht, die Polyphenoloxidase auszuschalten und der Hefe mehr Sauerstoff zuzuführen, während die Einschränkung der Vermehrung wilder Hefen und Bakterien nur zweitrangig ist (Bisson und Kunkee, 1995)

Die Fähigkeit der Hefe, das aus zwei Glucoseeinheiten bestehende Disaccharid Trehalose anzureichern, spielt eine wichtige Rolle bei der Gärung, da hohe Trehalosegehalte sowohl die Osmotoleranz gegen sehr hohe Zuckergehalte als auch die Alkoholtoleranz verbessern. Erhöhte Zellvitalität korrelierte eindeutig mit steigenden Trehalosegehalten im Zellinneren. Auch die Aminosäuren Prolin und Glycin werden in Verbindung gebracht mit verbesserter Osmotoleranz, so dass entsprechende Mangel an diesen beiden Aminosäuren ebenfalls zu Gärproblemen führen könnten.

Die Tatsache, dass Trauben von bestimmten Weinbergen trotz ausreichender Stickstoffversorgung über Jahren hinweg vermehrt zu Gärstörungen führen wurde auch mit erhöhten Phenolgehalten in Verbindung gebracht. Gerade in Weinbergen mit erhöhtem Krankheitsdruck reagieren die Reben mit der Bildung phenolischer Abwehrstoffen, den sogenannten Phytoalexinen. Da die Hefe botanisch vielen pilzlichen Schaderregern sehr ähnlich ist, kann eine gewisse Seitenwirkung nicht ausgeschlossen werden. Es wurden aber auch gärstimulierende Phenole beschrieben, so dass Gärstörungen auch als eine Kombination aus Mangel an stimulierenden und einem Überschuss an störenden Phenolen interpretiert werden können.

Ein etwas exotisches Gebiet betrifft die Kommunikation zwischen Hefezellen. Es konnte belegt werden, dass eine Reihe von Substanzen, die von der Hefe gebildet werden, andere Hefezellen im nahen Umfeld in ihrer Entwicklung beeinflussen können. So führten Ausschüttungen von Ammoniak durch eine Hefekolonie zu einem reduzierten Wachstum in einer benachbarten Kolonie. Die Erhöhung der CO₂-Konzentration in einer dichten Hefepopulation führte zu einer Sporenbildung der Hefen, was die Mög-

lichkeit einer sexuellen Vermehrung anzeigte. Für die Hefegattung *Schizosaccharomyces pombe* wurde dem $fnx1^+$ Gen, das primär eine Resistenz gegenüber vielen Pharmaka auslöst, eine Rolle in der Steuerung des Eintritts der Hefe in die stationäre Phase in Zusammenhang mit Stickstoffmangel nachgewiesen. Fehlt das $fnx1^+$ Gen, so reagiert die Hefe unzureichend auf den Stickstoffmangel und verliert an Vitalität. Es wurde vermutet, dass dieses Gen einen Botenstoff bildet, der anderen Hefen den Stickstoffmangel anzeigt. Fehlt dieses Signal, gehen die Hefen trotz Stickstoffmangel nicht rechtzeitig in die stationäre Phase über, was zum Zelltod führen kann. Diese These hat eine große Bedeutung bei der Reaktivierung einer steckengebliebenen Gärung. Auch *Saccharomyces cerevisiae* besitzt ein dem $fnx1^+$ Gen sehr ähnliches eigenes Gen, das ein ähnliches Mangelsignal aussenden kann, welches die umliegenden Hefezellen beeinflusst. Die Präsenz eines solchen Mangelsignals würde die großen Schwierigkeiten bei der Reaktivierung einer gestockten Gärung erklären, da trotz der Entfernung des alten Hefegeläges dieser Signalstoff noch präsent sein kann und auch die neue Hefe zum Nichtwachstum veranlassen würde. Hier könnte nur eine Verdünnung oder eine Entfernung, etwa durch eine Bentonitschönung, Abhilfe versprechen.

In der Schwebe befindliche Hefen sind stets deutlich aktiver als sedimentierte Hefen. Da eine inaktive Hefe sehr rasch absinkt, kann in dem inaktiven Hefegeläge eine andere Kommunikation zwischen den Hefezellen herrschen, als zwischen aktiven Hefen. Inaktive *Saccharomyces* Hefen vollziehen eine Form von programmierten Zelltod, der typisch für höhere Eukaryonten ist. Jedoch sind diese Alterungsfaktoren anders als die in Säugetierzellen. Der Zelltod bei Hefen ist typisch für Mikroorganismen, die in größeren Zellverbänden leben. Tritt in einem Teil der organisierten Zellpopulation der Zelltod ein, profitieren andere Mitglieder von der Erhöhung des Nährstoffangebots, der aus der Autolyse der Hefe erwächst. Das genauere Studium dieses Phänomens könnte interessante Aufschlüsse über die beste Reaktivierung einer in Stockung geratenen Gärung bringen. Die Entfernung der inaktiven Hefemasse ist in jedem Falle ratsam, da die eng beieinander liegenden Hefezellen in ihrem Verbund einem Teil ihrer Hefen bereits das Signal zum Zelltod und zur Autolyse gegeben haben. Diese Form der Kommunikation ist bereits für eine Reihe anderer Mikroorganismen beschrieben worden (Bisson, 1999).

3 Material und Methoden

3.1 Fragebogen für die teilnehmenden Weingüter in der Pfalz

Im Frühjahr 1995 gründete sich zur Schaffung einer praxisbezogenen Datenbasis für dieses Forschungsvorhaben ein Arbeitskreis Gärstörungen unter Federführung des Fachbereiches Kellerwirtschaft der SLFA Neustadt. Daran nahmen im Untersuchungszeitraum von 1995 bis 1997 insgesamt 15 Betriebe teil, von denen vier Betriebe aus dem Bereich Südliche Weinstraße und elf Betriebe aus dem Bereich Mittelhaardt stammten. Der im Anhang 1 aufgeführte Fragebogen wurde jeweils vor dem Herbst den Betrieben zur Verfügung gestellt.

3.2 Probennahme:

Aus dem Produktionsablauf wurden je nach Betrieb zwischen 2 und 15 Proben in ihrem Gärverlauf verfolgt, wobei die Mehrzahl der Moste aus der Rebsorte Riesling gekeltert wurden. Es wurde vereinbart, vornehmlich solche Mostpartien zu verfolgen, die aus Weinbergen stammen, die eine erhöhte Neigung zu Gärstörungen in den Vorjahren zeigten. Die Mostproben (1000 ml) wurden aus dem gärfähigen Gebinde nach der Vorklärung und Mostschönung, aber vor der Hefeinokulation und möglichen Zugabe von Hefenährstoffen gezogen und mit 50 mg/l Natriumacid zur mikrobiellen Konservierung versetzt (Lück, 1985). Sobald eine ungewöhnliche Verlangsamung der Gärung eintrat, wurde gemäß des Versuchsplanes in Anhang 2 aus der Mitte des Gärgebundes eine Probe gezogen und unverzüglich dem Labor in der SLFA Neustadt zugeführt. Bei vorzeitigem Gärstopp oder einer normalen Beendigung der Gärung wurde vor jeglicher Schönungs- und Verschnittmaßnahme eine Probe gezogen, die mit SO₂ stabilisiert wurde und bei -20 °C eingefroren wurde.

3.3 Weinchemische Analytik

- Trub: Der Schleudertrub wurden nach Zentrifugieren für 10 min bei 10 000 g und Abdekantieren des klaren Überstandes durch Auswiegen bestimmt. Vor der Rückwiegung wurden die Behälter für 10 min austropfen gelassen.
- Mostgewicht: Dichte (d_{20}/d_{20}) mittels eines Biegeschwingers (Paarl).
- Titrierbare Säure und pH-Wert: Automatische Titration des zentrifugierten Mosts auf pH 7,0 und pH-Wertmessung mit einer TitroLine alpha TZ 2825 (Schott, Mainz)
- Gesamtphenole nach Folin-Chiocalteau (Würdig and Woller (Hrsg.), 1989)
- Braunfärbung: Bestimmung der Extinktion in 10-mm-Quarzküvetten bei 420 nm Wellenlänge.
- Stickstoffgehalt: Formol-Zahl, ab 1997 auch Ferm-N Wert und NOPA-Wert (siehe Kapitel 3.4),

Sobald auffällige Gärverzögerungen auftraten, wurden aus einer aktuellen Probe folgende Parameter bestimmt:

- Hefezellzahl (siehe Kapitel 3.6),
- pH-Wert und titrierbare Säure
- Gehalt an Glucose, Fructose, Glycerin und Ethanol mittels HPLC (Otteneder and Marx, 1995)

Aus Rückstellmustern des Mostes und des in seiner Gärung gestörten Weines wurde zu einem späteren Zeitpunkt eine Aminosäureuntersuchung (siehe Kapitel 3.4) vorgenommen.

Die nach Gärverlangsamung, vorzeitigem Gärstop und normalem Gärnde gezogenen Proben wurden erneut auf Glucose, Fructose, Glycerin und Ethanol untersucht.

3.4 Stickstoff- und Aminosäureanalytik

Der Stickstoffgehalt der Mostproben wurde 1995 und 1996 nur anhand der Formolzahl ermittelt, ab 1997 wurden zwei weitere Schnellmethoden angewandt, der ferm N-Wert und der NOPA-Wert. Bei der Bestimmung der Formolzahl (Matissek et al., 1992) wurden 25 ml zentrifugierter Most mit 0,25 n NaOH auf pH 8,1 titriert und somit alle vorliegenden organischen und anorganischen Säuren neutralisiert. Bei Zugabe von Formaldehyd lagern sich zwei Formaldehydmoleküle an das Stickstoffatom der Aminogruppe unter Ausbildung von zwei Methanolgruppen an und setzen dabei ein H⁺-Ion frei. Dieses wird nach 1 min erneut mit 0,25 n NaOH auf pH 8,1 titriert. Die Formolzahl berechnet sich aus dem Zehnfachen des zweiten Titrationsvolumens. Sie erfasst Aminogruppen, Ammoniak und primäre Amine vollständig, sekundäre Aminogruppen und phenolische OH-Gruppen teilweise, tertiäre Amine, SH-Gruppen und aliphatische OH-Gruppen dagegen nicht. Die Formolzahl hat sich zur Charakterisierung bestimmter Frucht- und Gemüsesäfte bewährt. In der oenologischen Praxis wird die Formolzahl nach Multiplikation mit dem alpha-Aminostickstoff mal 10, sprich dem freien Aminosäure-Stickstoff, gleichgesetzt. Dies ist aus der Sicht der Hefephysiologie nicht ganz korrekt, da die Hefe von der wichtigsten Speicheramino-säure der Rebe, dem Arginin, eben nicht die durch die Formoltitration erfasste Aminogruppe in der alpha-Stellung als Stickstoffquelle nutzen kann, sondern nur die drei nicht erfassten Stickstoffatome am fünften C-Atom des Arginins.

Der hefeverwertbare Stickstoff wurde ferner anhand des ferm-N-Wertes mit dem Geisenheimer Testkit (Fa. Erbslöh, Geisenheim) bestimmt. Es handelt sich dabei um eine enzymatisch-photometrische Analyse, die einen dimensionslosen ferm-N-Wert auf der Basis einer für Arginin spezifischen Reaktion sowie den Ammoniumgehalt in mg/l angibt. Da das Arginin die bevorzugte Speicherform des Stickstoffs in der Rebe darstellt, kann mit dem ferm-N-Wert sehr gut die Stickstoffversorgung des Mostes aus pflanzenphysiologischer Sicht charakterisiert werden. Die Hefe verarbeitet neben den durch diesen Test erfassten Arginins und Ammonium auch zahlreiche andere Aminosäuren (siehe Kapitel Stickstoffversorgung), so dass auch dieser Test keine exakte Bestimmung des hefeverwertbaren Stickstoffs darstellt.

Der dritte Schnelltest beruht auf der Reaktion primärer Aminogruppen mit einem o-Phthaldialdehyd/N-acetyl-L-Cystein-Reagenz und der Detektion des entstehenden Isoindolderivates bei 335 nm (Dukes and Butzke, 1998). Der α -Amino-N-Gehalt wird entweder in Millimol pro Liter (mM/l) Isoleucin oder direkt als mg Stickstoff pro Liter angegeben.

Die Bestimmung der Aminosäuren erfolgte für einen Teil der Proben an der SLVA Trier, Fachbereich Kellerwirtschaft und Oenologie, und dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der FA Geisenheim. Die in Trier vermessenen Moste und Weine wurden mittels einer Vorsäulenderivatisierung mit o-Phthaldialdehyd (OPA), RP18-HPLC und Fluoreszenz-Detektion bei 370 und 450 nm analysiert (Svedas et al., 1980), während der andere Teil der Proben mittels einer Vorsäulenderivatisierung mit Dansylchlorid, RP18-HPLC und Fluoreszenz-Detektion bestimmt wurden (Prior, 1997). Bei der OPA-Derivatisierung wurden 14 Aminosäuren quantifiziert: Glutaminsäure (Glu), Asparaginsäure (Asp), Serin (Ser), Glutamin (Gln), Arginin (Arg), Glycin (Gly), Threonin (Thr), Alanin (Ala), Methionin (Met), Valin (Val), Phenylalanin (Phe), Isoleucin (Ile), Leucin (Leu) und Lysin (Lys) und bei der Dansylchlorid-Derivatisierung zusätzlich Asparagin (Asn), Prolin (Pro), Tryptophan (Try), Tyrosin (Tyr), Histidin (His), (Cit), Ornithin (Orn) und γ -Aminobuttersäure (c-ABA). Da für die Hefeernährung primär der Stickstoffgehalt der Aminosäuren von Bedeutung ist, wurden die Aminosäuregehalte auf den Stickstoffanteil reduziert, der als Aminosäurenstickstoff (AS-N) in mg/l angegeben wird. Zur Charakterisierung der Ami-

nosäureminderung während der Gärung wurde der in den Weinproben vorgefundene AS-N-Gehalt als Prozent der im Most analysierten AS-N-Konzentrationen angegeben.

3.5 Statistische Analyse

Die Principal-Component-Analyse wurde mit der „proc factor“ Routine von PC-SAS Version 6.06 durchgeführt, wobei zur besseren graphischen Darstellung die „factor loadings“ stets mit 2 multipliziert wurden.

3.6 Einfluss oenologischer Parameter auf die Gärkinetik und Hefezellzahlen

Zur experimentellen Untersuchung einiger oenologischer Parameter, die als Ursachen von Gärstörungen oder zu ihrer Behebung diskutiert werden, diente ein 1996 durchgeführter Gärversuch mit den folgenden 16 Varianten.

- Einfluss des Trubgehaltes (0,1 %, 0,3 % und 0,6 % Schleudertrubgehalt)
- Einfluss der inneren Oberfläche (0,1 % Trub ohne Cellulose, plus 0,5, 1 und 3 g/l Cellulose)
- Einfluss der Hefemengen (2, 10 und 25 g/hl Reinzuchthefer)
- Einfluss der Stickstoffversorgung I (Kontrolle ohne DHAP, Gabe von 0,3 g/l DHAP nach 5 Tagen, Gabe von 0,3 g/l DHAP nach 15 Tagen, Gabe von 0,9 g/l DHAP nach 5 Tagen)
- Einfluss der Stickstoffversorgung II (10 g/hl Hefe, 10 g/hl Hefe und Gabe von 0,4 g/l eines Heferinderpräparates zu Beginn der Gärung)
- Einfluss der Sauerstoffversorgung (Kontrolle, Gabe von Sauerstoff nach 5 Tagen, Gabe von Sauerstoff nach 10 Tagen, Gabe von Sauerstoff plus 0,3 g/l DHAP nach 5 Tagen)
- Einfluss des Glucose-Fructose-Verhältnisses (Kontrolle, Zusatz einer Glucose-Fructose-Isomerase nach 10 Tagen)

Die Gärversuche wurden in Wiederholung in Glasballons à 10 Liter durchgeführt. Als Most diente ein 1996er Mußbacher Kurfürst Riesling Kabinett aus dem Staatsweingut mit Johannitergut in Neustadt-Mussbach, der mit 85 °Oe am 25.10.96 geerntet wurde, 9,5 g/l Säure, pH 3,1 und einer Formolzahl von 22 aufwies und auf 92 g/l Alkohol angereichert wurde. Die für den Versuch bestimmte Teilpartie wurde nicht geschönt und über einen Vakuumdrehfilter blank filtriert. Der filtrierte Most enthielt 265 mg/l freier Aminosäure-Stickstoff und bewegte sich somit im Mittel der in Abb. 25 aufgeführten Übersicht aller 1996 untersuchten 74 Mostpartien. Aus dem Sedimentationstrub der Gesamtpartie wurde durch Zentrifugieren ein pastöser Trub gewonnen, dessen Zusatz zu den einzelnen Gebinden eine exakte Trubeinstellung zuließ. Sofern nicht anders angegeben, enthielten die Moste 0,1 % Schleudertrub. Als Cellulose wurde ein sehr kurzfasriges Filterhilfsmittel (Becocel 100) der Firma Begerow verwandt, das eine spezifische Oberfläche von 1,43 m²/g besitzt und eine durchschnittliche Faserlänge von 2-18 µm. In allen Varianten wurde die Reinzuchthefer Siha 3 (*Saccharomyces cerevisiae*, Stamm WET 136) der Firma Begerow verwandt. Der Ansatz erfolgte am 28.10.99, die Vergärung verlief bei 15 °C. Als komplexes Hefenährstoffpräparat wurde Siha-Proferm in der Maximaldosage von 0,4 g/l gemäß der VO (EWG) Nr. 822/87 eingesetzt. Zum Eintrag von Sauerstoff wurde reiner Sauerstoff für 20 Minuten durch eine feine Keramikfritte in das Gärmedium gepert.

Die Gärkinetik wurde durch eine tägliche Wägung der Gärbehälter verfolgt, die später auf CO₂-Verluste in g pro Liter Gärmedium umgerechnet und in den Abbildungen aufgetragen wurden.

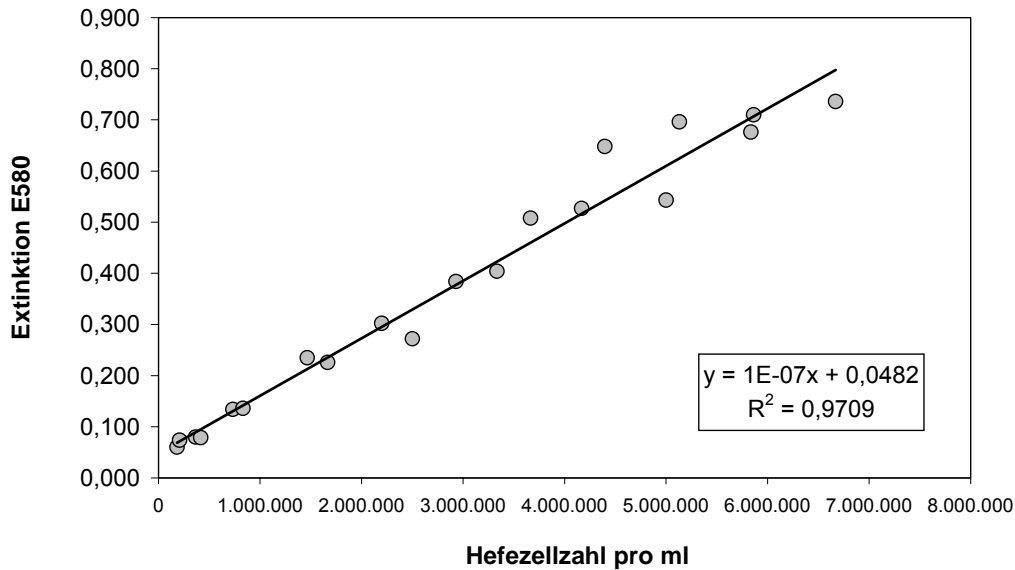


Abb. 4: Eichgerade zur photometrischen Bestimmung der Hefezellzahl

Die Hefezellzahlen wurden photometrisch in einer Quarzküvette von 10 mm Dicke bei 560 nm bestimmt. In Vorversuchen wurde in der Eichgerade in Abb. 4 die Extinktion bei 560 nm mit der in einer Zählkammer ausgezählten Anzahl der Hefezellen in Beziehung gesetzt und das Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,97 besagt, dass mit der Extinktion bei 560 nm 97 % der Varianz der tatsächlichen Hefezellzahl pro ml erklärt werden kann. Die tägliche Probennahme aus den Gärbehältern erfolgte mittels einer Pipette, die über eine fixierte Halterung eine standardisierte Entnahme von 10 ml Gärmedium aus der Mitte jedes Gärbehälters erlaubte. Je nach Gärintensität wurde die Probe bis zum 20-fachen verdünnt. Mit dieser Schnellmethode wurde nicht zwischen lebenden und toten Zellen unterschieden und es wurde nur die Hefezellen erfasst, die sich in der Schwebe in der Mitte des Gärbehälters befanden.

Mit dem Abflachen der Gärkurven wurde 16 Tage nach Ansatz der Hefe täglich die Weine auf Glucose, Fructose, Glycerin und Ethanol analysiert.

4 Kellerwirtschaftliche Ursachen für Gärstörungen

Zu Beginn der Darstellung der Ergebnisse sei eine Vorbemerkung erlaubt. Das Gelingen des wichtigsten Teiles dieses Forschungsvorhabens, der Untersuchung von Ursachen der Gärstörungen in den Praxisbetrieben, war abhängig von der Zusammenarbeit mit den Betrieben. Obwohl alle Betriebe mit großem Engagement und Einsatz das Forschungsvorhaben unterstützten, konnten einige entscheidende Parameter wie etwa der endgültige Restzuckergehalt der Partien, die den Grad der Gärstörung charakterisiert, nicht erfasst werden. Grund dafür war die Tatsache, dass der Betriebsleiter oder Kellermeister vor Ort bei dem Auftreten von Gärstörungen kellerwirtschaftliche Maßnahmen ergriffen, um diese zu beheben, etwa durch den Verschnitt eines kräftig gärenden Weines mit einer in Stockung geratenen Partie. Gebinde mit erhöhtem Restzuckergehalt wurden in vielen Betrieben dazu genutzt, komplett durchgegangene Partien im Restzucker anzuheben, ohne die Höchstgrenze für trockene Weine zu überschreiten. Leider wurde oftmals versäumt, den exakten Restzuckergehalt vor dem Verschnitt in dem Fragebogen festzuhalten. Aus diesen Gründen fehlen für die meisten Proben der Jahrgänge 1995 und 1996 Daten über das Ausmaß der aufgetretenen Gärstörungen. Ich bitte diese Bemerkung nicht als Kritik an den teilnehmenden Betrieben aufzufassen, wohl aber als Begründung dafür, dass im Folgenden die meisten Ergebnisse auf den Jahrgang 1997 beschränkt bleiben müssen. Insgesamt traten bei über 20 % aller 1997 untersuchten Partien Gärstörungen auf, die zu Restzuckergehalten von mehr als 10 g/l führten (siehe Abb. 5)

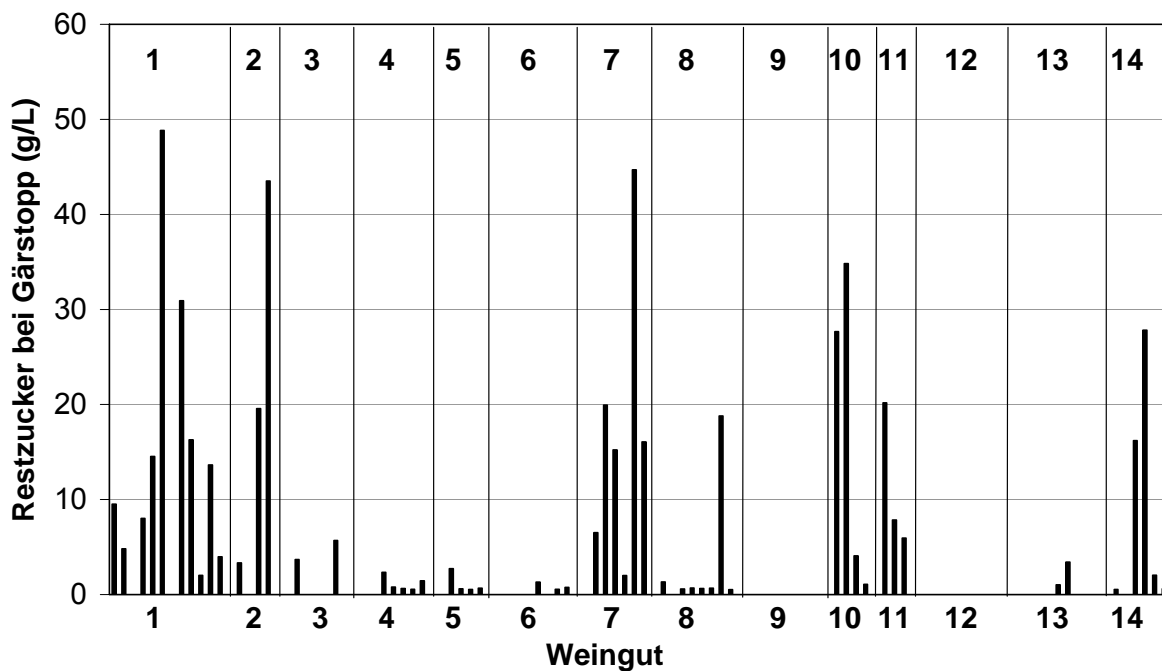


Abb. 5: Restzuckergehalte aller im Jahrgang 1997 untersuchten Gebinde aus 14 Weingütern der Pfalz 1997 (n=83)

4.1 Trubgehalt der Moste

In der Praxis wird die starke Mostvorklärung durch Sedimentation, Separation oder Filtration (Heffepress-, Vakuumdreh- oder Kieselgurfilter) als eine der Hauptursachen der Gär Schwierigkeiten diskutiert. Der Mosttrub erhöht die innere Oberfläche im Gärmedium und erleichtert somit die Entbindung der Kohlensäure während der Gärung und fördert die Turbulenz im Gärmedium. Gleichzeitig kann er als Nährstoffreservoir für die Hefe dienen, da im Mosttrub ungesättigte Fettsäuren, zersetzbare Proteine, Mineralien und Vitamine gefunden werden (Delfini und Conterno, 1992; Delfini und Cocito, 1993; Fer-

rando et al., 1998), während wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, die im Trub vorliegenden Sterole der Trauben nicht die Aufgaben der hefeeigenen Sterole übernehmen können (Bisson, 1999).

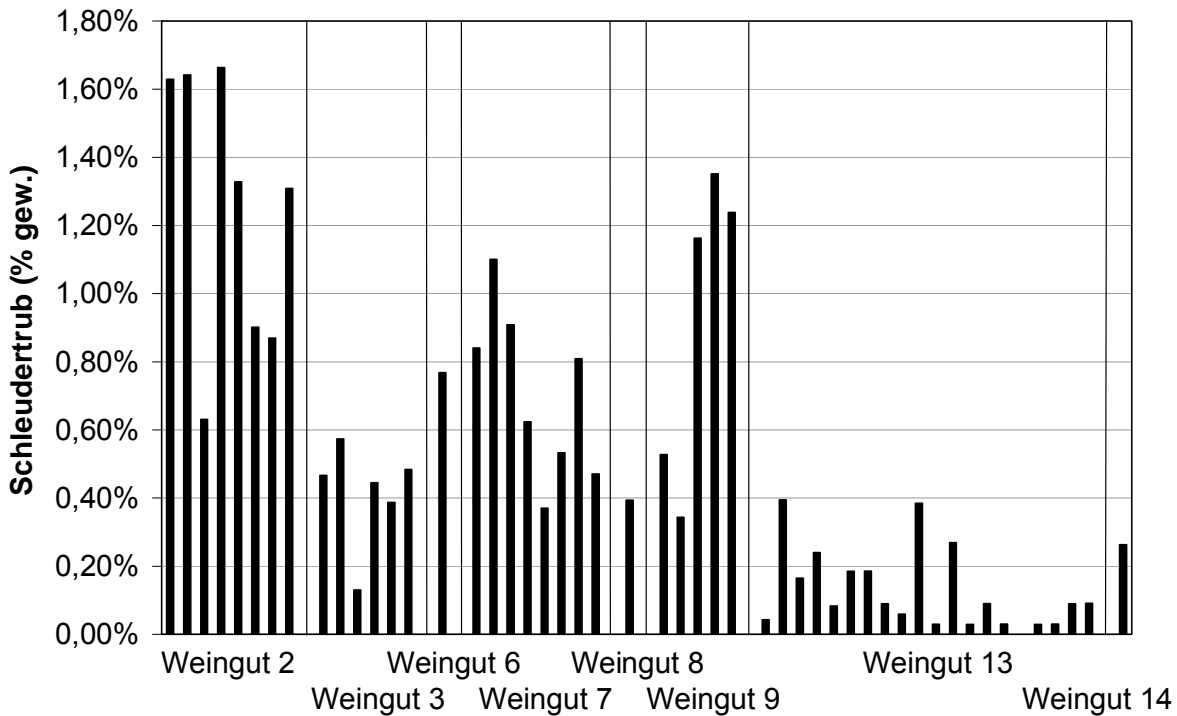


Abb. 6: Schleudertrubgehalte (% gew.) in den untersuchten gärfähigen Gebinde in 8 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1995 (n=50)

Der Vergleich der Trubgehalte in 50 Mosten des Jahrgangs 1995 aus 8 Weingütern in Abb. 6, in 64 Mosten des Jahrgangs 1996 aus 12 Weingütern in Abb. 7 und in 97 Mosten des Jahrgangs 1997 aus 14 Weingütern in Abb. 8 belegt eine enorme Streubreite von unter 0,1 bis zu 1,7 % Schleudertrub. Den starken Einfluss betriebsspezifischer Technik verdeutlicht der Vergleich der beiden Weingüter 2 und 13 in Abb. 6. Während 1995 im Weingut 13 alle Moste mit einer mittleren Kieselgur filtriert wurden und alle weniger als 0,4 % Trub aufwiesen, arbeitete das Weingut 2 ausschließlich mit Sedimentation. Diese wurde wahrscheinlich durch den starken Botrytisbefall im Jahrgang 1995 beeinträchtigt, der zu einer vermehrten Feintrubbildung bei der Verarbeitung führt. Andererseits belegt Abb. 6 die hohe Effizienz anderer Klärtechnologien wie Hefefilter, Vakuumdrehfiltern und Kieselgurfiltern, die trotz einer schwierigen Mostzusammensetzung sehr gute Klärgrade herbeiführten.

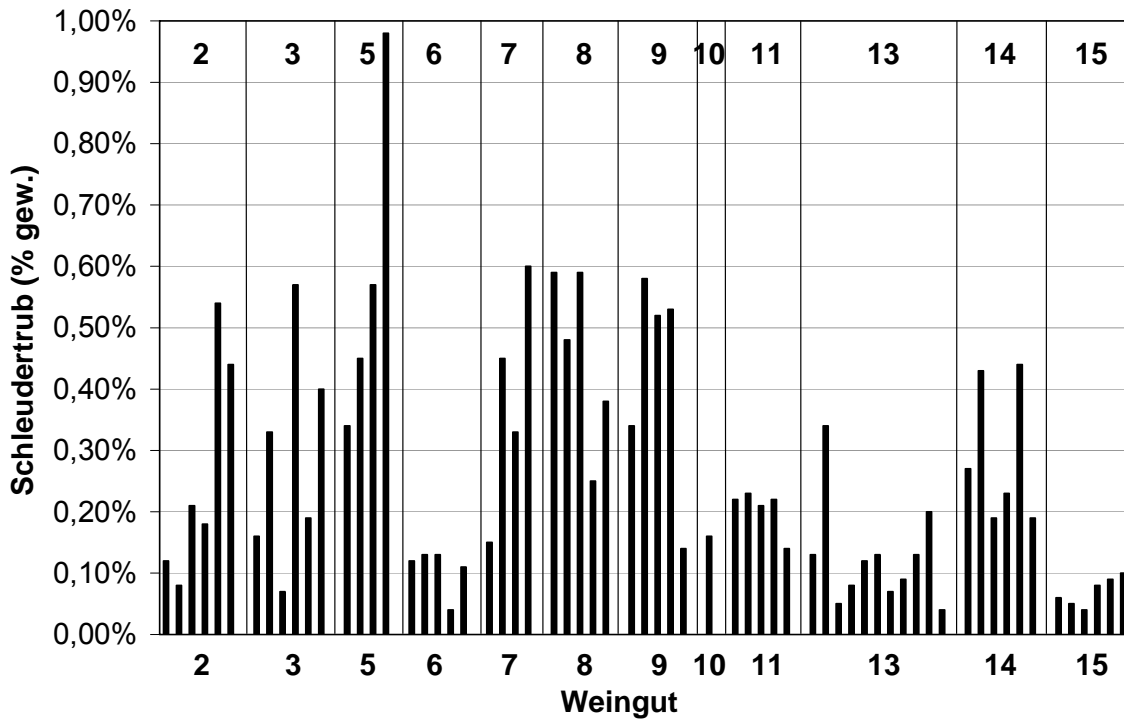


Abb.7: Schleudertrubgehalte (% gew.) in den untersuchten gärfähigen Gebinde in 12 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1996 (n=64)

Auch im Jahrgang 1997, der im Gegensatz zu 1995 in der Pfalz sehr gesundes Lesegut lieferte, lagen die Weingüter 3, 7, 9, 11 und 12 im Durchschnitt oberhalb des Richtwertes von 0,5 % Schleudertrub, der Voraussetzung für die Erzeugung qualitativ hochwertiger Weißweine ist.

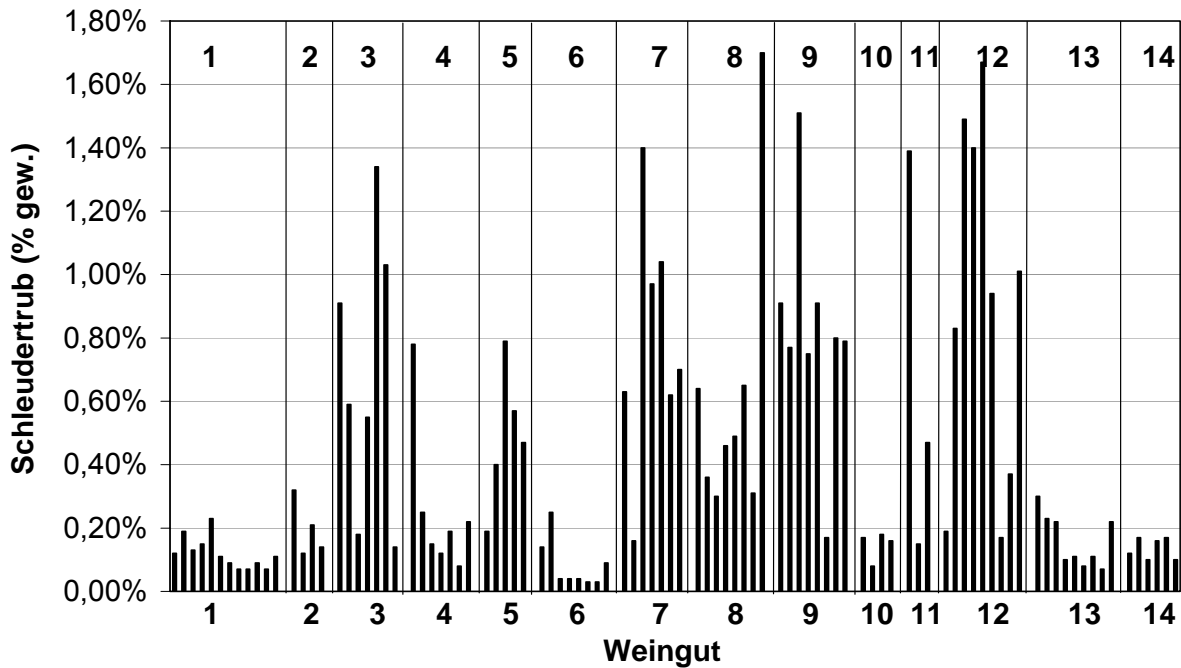


Abb. 8: Schleudertrubgehalte (% gew.) in den untersuchten gärfähigen Gebinde in 14 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1997 (n=97)

Anhand der Fragebögen aus dem Jahr 1997 können die niedrigen Trubgehalte der Weingüter 6 und 13 auf die Anwendung einer Hefefiltration der gesamten Partie und bei Weingut 2 auf 30 % der Partie zurückgeführt werden. Bei einer äußerst schonenden Lese- und Abladetechnik (Abkippen aus Einheitsbehälter) im Weingut 10 konnten trotz 24-stündiger Maischestandzeit nach 24 Stunden Sedimentation ohne jegliche Mostschönung durchweg Werte unterhalb von 0,2 % Schleudertrub erzielt werden. Im Gegensatz dazu konnten im Weingut 12 trotz einer 12- bis 18-stündigen Klärzeit nur unbefriedigende Klärgrade erzielt werden, da die gemahlene Trauben über eine truberzeugende Kombination aus Transportschnecke, Excenterschneckenpumpe und Zentralbefüllung in die Tankpresse gefördert wurden.

Über die drei Jahrgänge 1995, 1996 und 1997 betrachtet, hatte der Gesundheitszustand der Trauben einen weitaus geringeren Einfluss als die betriebsspezifische Traubenverarbeitung. So liegen die Weingüter 7 (nur 12 Stunden Sedimentation) und 9 stets im oberen Bereich der Trubgehalte, während die Weingüter 6 und 13 aufgrund der Kieselgurfiltration des Mostes stets die niedrigsten Trubgehalte aufweisen. Eine deutliche Abnahme der Trubgehalte können für das Weingut 2 über die drei Jahrgänge festgestellt werden.

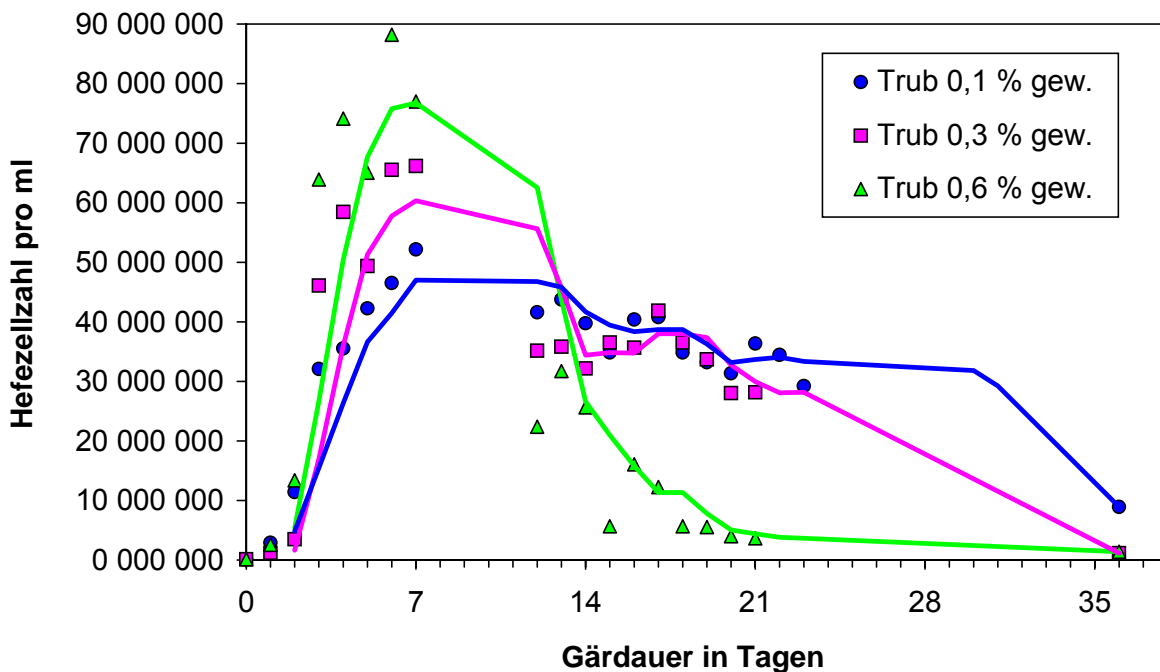


Abb. 9: Entwicklung der Hefezellzahl während der Vergärung eines 1996er Rieslingmostes bei 15°C in Abhängigkeit des Schleudertrubgehalt (% gew.) (10 Liter, n=2)

Im Rahmen der Gärversuche 1996 konnte aufgrund unterschiedlicher Trubgehalte zwar keine Gärstörung beobachtet werden, aber die Entwicklung der Hefezellzahl in Abb. 9 wurde deutlich durch den Trub gefördert. So wurde in der mit 0,6 % Trub vergorenen Variante mit knapp 90 Mio. Hefezellen pro ml rund 50 % mehr Hefezellen gebildet wie in der mit 0,1 % Trub vergorenen Variante. Während die trubreiche Variante kaum eine stationäre Phase ausbildete, dauerte diese in der trubarmen Variante etwa 3 Wochen an.

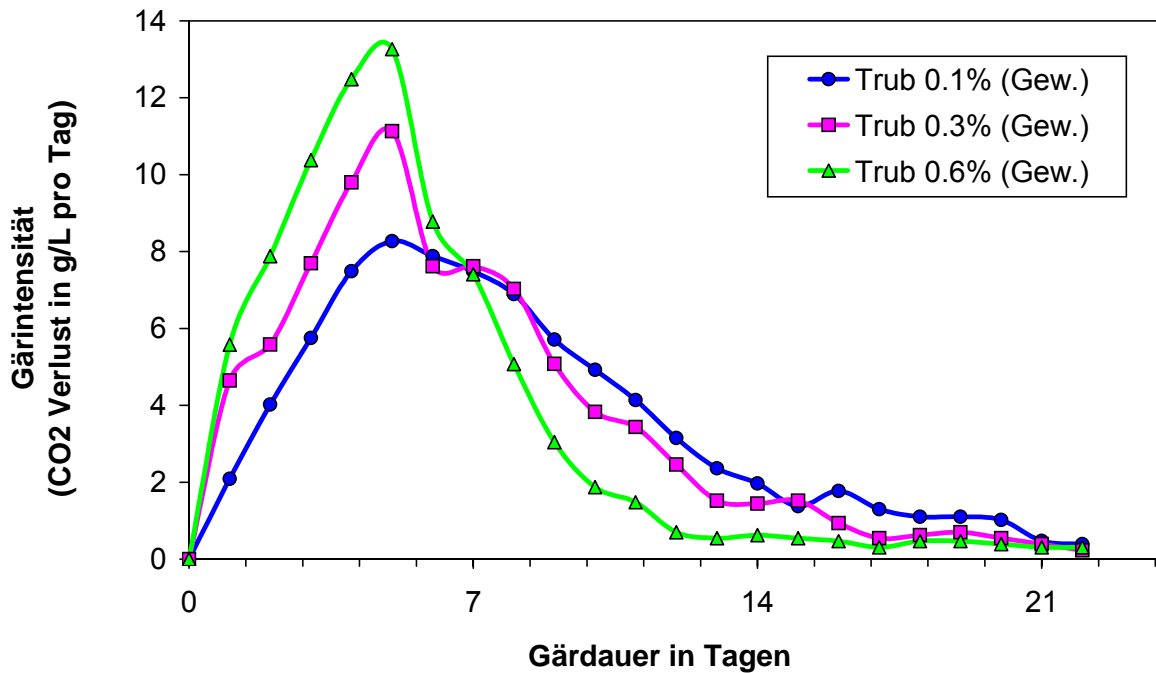


Abb. 10: Gärintensität eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit vom Schleudertrubgehalt (% gew.) (10 Liter, n=2)

Die positive Beeinflussung der Hefeentwicklung durch den erhöhten Trubgehalt führt in Abb. 10 auch zu einer stürmischeren Gärung der trubreichen Variante, die am 5. Tag der Gärung pro Tag 40 % mehr CO₂ bildet als die trubarme Variante. Die erhöhte CO₂-Bildung wirkt wie eine zusätzliche Gaswäsche und entfernt wertgebende flüchtige Aromastoffe, etwa die durch die Hefen gebildeten fruchtigen Ester.

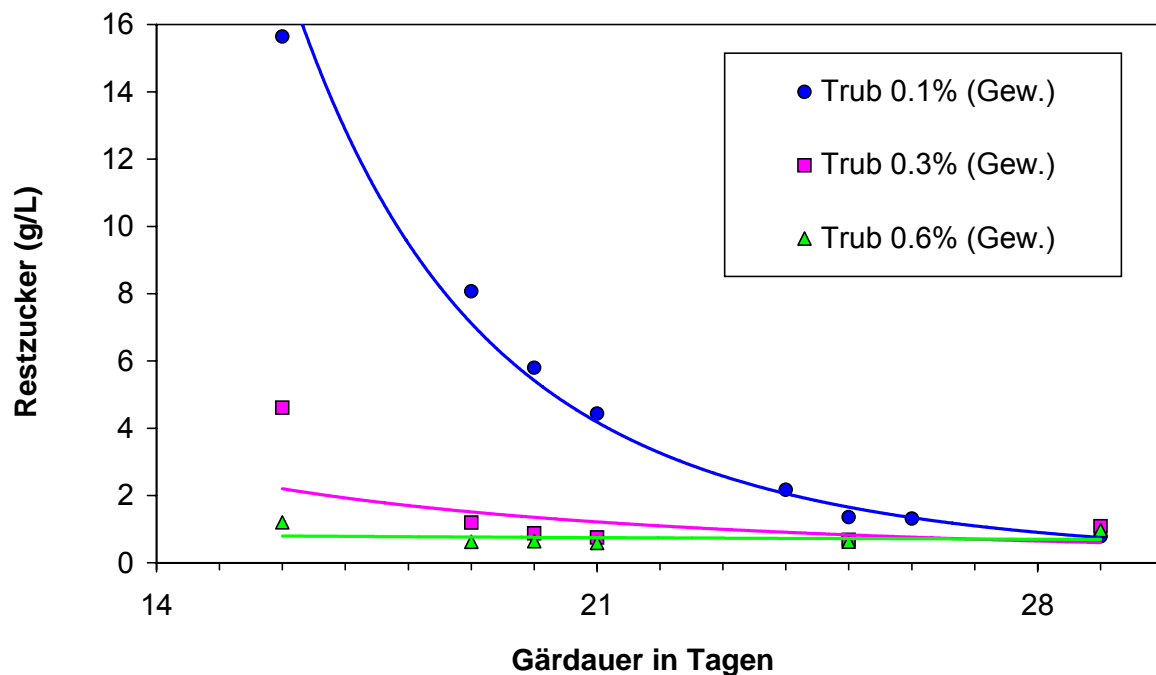


Abb. 11: Restzuckerabnahme zum Gärende eines 1996er Rieslingmostes bei 15°C in Abhängigkeit vom Schleudertrubgehalt (% gew.) (10 Liter, n=2)

Während die trubreiche Variante bereits nach 16 Tagen den Endvergärungsgrad von 1 g/l Restzucker erreicht hat, braucht der Wein mit 0,3 % Trub 19 Tage und der trubärmste Wein mit 0,1 % Trub 29 Tage. Da jedoch in allen drei Varianten das Ziel der Gärung erreicht wurde, kann dem Trubgehalt in diesem Experiment zwar eine gärverzögernde Wirkung attestiert werden, nicht aber eine gärhemmende oder gärstörende Wirkung. Klar konnte gezeigt werden, dass die Hefe in ihrer Vermehrung von einem mehr an Trub profitiert, was aber aufgrund der stärkeren Gärintensität entgegen dem kellerwirtschaftlichen Qualitätsziel einer gezügelten Gärung wirkt. Neben dem Verlust von Aromastoffen kann in Abb. 12 eine Verminderung des Gesamtalkoholgehaltes mit steigendem Trubgehalt belegt werden, der zum einen durch den Verlust von Alkohol über die CO₂-Entbindung zu erklären ist, zum zweiten über die vermehrte Hefezellmassenbildung in Abb. 9 und zum dritten aufgrund der geringfügig höheren Glycerinkonzentration in den trubreicher vergorenen Weinen.

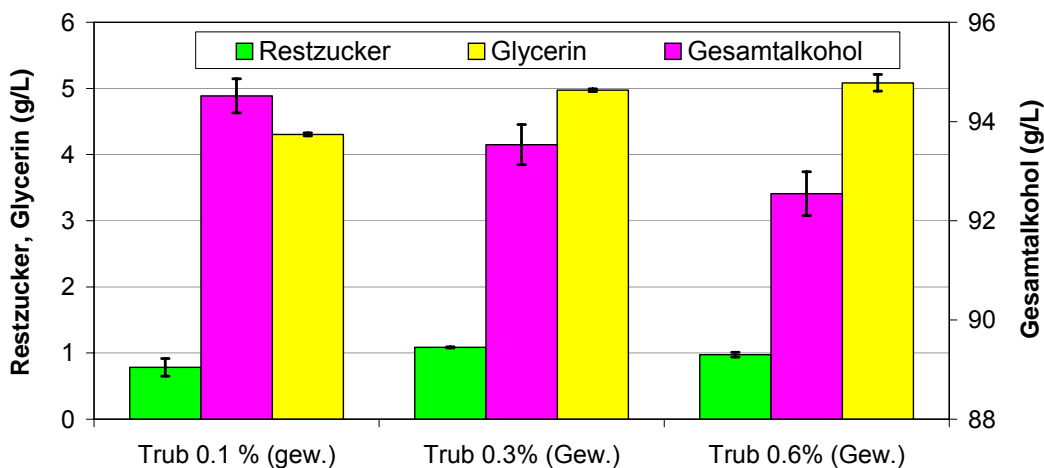


Abb. 12: Gehalte an Restzucker, Glycerin und Gesamtalkohol am Ende der bei 15°C durchgeführten Vergärung eines 1996er Rieslingsmostes in Abhängigkeit vom Mosttrubgehalt (% gew.) (10 Liter, n=2)

Zur Überprüfung des experimentellen Befundes, dass der Mosttrubgehalt keinen Einfluss auf die Gärstörungen gezeigt hat, wurden 1995 anhand von 8 Weinen des Weingutes 2 und 1997 anhand von 71 Weinen aller Weingüter eine Korrelation zwischen dem Mosttrubgehalt und dem Auftreten an Gärstörungen errechnet, die sich an dem endgültigen Restzuckergehalt der Weine orientiert.

Für den Jahrgang 1995 in Abb. 13 als auch für den Jahrgang 1997 in Abb. 14 konnten entgegen der landläufigen Meinung anhand von Korrelationsanalysen keine aussagekräftige Beziehung zwischen dem Schleudertrubgehalt im Most und dem Endvergärungsgrad ermittelt werden. Dies geht aus dem niedrigen Bestimmtheitsmaß R^2 in Abb. 13 und Abb. 14 hervor. Das Bestimmtheitsmaß gibt an, in welchem Maße die Unterschiede im Restzucker durch unterschiedliche Schleudertrubgehalte vorhergesagt werden können. 1995 konnte nur 0,23 % der Variation im Zuckergehalt durch den Schleudertrub erklärt werden, während es 1997 10,8 % waren. Gleichzeitig konnte belegt werden, dass in der Praxis selbst sehr geringe Mosttrubgehalte von durchgehend weniger als 0,1 % (gew.) kein verstärktes Auftreten von Gärstörungen nach sich zogen und dass in vier Weinen mit Mosttrubgehalten von mehr als 0,8 % Gärstörungen in Form von Restzuckergehalte von mehr als 16 g/l zu verzeichnen waren.

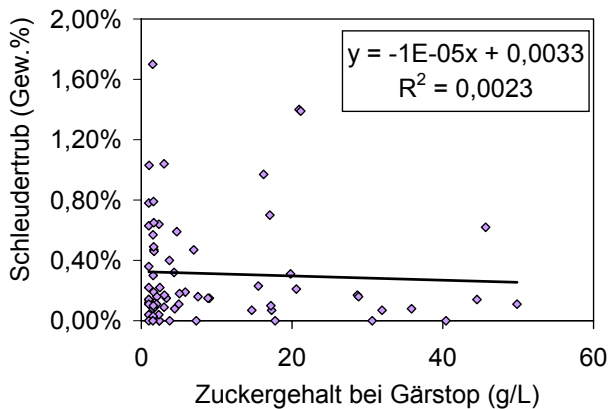


Abb. 13: Korrelation zwischen dem Restzucker-
gehalt beim Gärstopp und dem Schleuder-
trubgehalt (% gew.) in Mosten des Wein-
gutes 8 im Jahr 1995 (n=8)

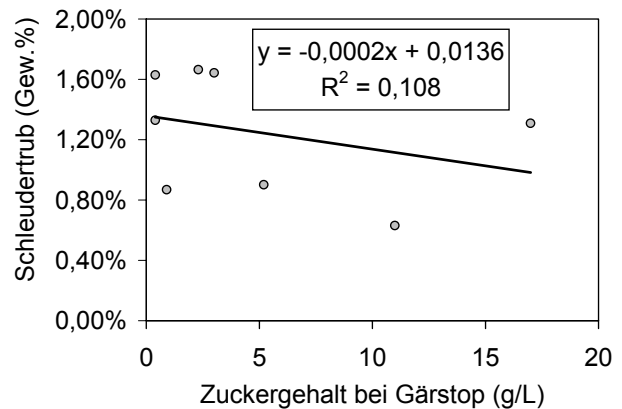


Abb. 14: Korrelation zwischen dem Restzucker-
gehalt beim Gärstopp und dem Schleuder-
trubgehalt (% gew.) in Mosten des Jahr-
ganges 1997 (n=71)

Zusammenfassung Kapitel „Trubgehalt der Moste“

- Trubgehalte in den untersuchten Praxisbetrieben variierten stärker aufgrund betriebsspezifischer Technologie als durch jahrgangsbedingte Unterschiede in der Taubenzusammensetzung und ihrem Gesundheitszustand.
- Erhöhte Trubgehalte fördern die Hefevermehrung und führen zu einer kurzen stationären Phase, einer stürmischeren und verkürzten Gärung, in der die höhere innere Oberfläche von 0,6 % Schleudertrub bis zu 40 % mehr CO₂ pro Zeiteinheit entbindet als 0,1 % Schleudertrub.
- Sowohl in experimentellen Gärversuchen als auch in der kellerwirtschaftlichen Praxis von 15 Betrieben konnte keine gesicherte Beziehung zwischen dem Auftreten von Gärstörungen und dem Trubgehalt festgestellt werden. Selbst Partien mit deutlich weniger als 0,1 % Mosttrubgehalt gärten in allen drei Jahrgängen sicher durch.
- Während der Mosttrub der Hefe ein Reservoir an ungesättigten Fettsäuren, abbaubarer Proteine und Mineralien bietet, können die pflanzlichen Sterole aus dem Trub nicht die Aufgaben der Hefesterole zur Steigerung der Alkoholtoleranz übernehmen.
- Erhöhte Trubgehalte steigerten signifikant die Glycerinbildung um bis zu 1 g/l, was die These bestätigt, dass eine qualitätsorientierte starke Vorklärung zu niedrigeren Extraktwerten führt.

Fazit:

Dem qualitätsfördernden Effekt von niedrigen Trubgehalten muss absoluten Vorrang gegenüber dem die Gärung stimulierenden Effekt erhöhter Trubgehalte eingeräumt werden, da niedrige Trubgehalte zwar zu einer Gärverlangsamung, aber nicht eindeutig zu Gärstörungen führten.

4.2 Erhöhung des Trubgehaltes mit Cellulose

Zur Verbesserung der Entbindung der gelösten CO₂ wurde die innere Oberfläche durch den Zusatz eines Filterhilfsmittels in Form einer feinfaserigen Cellulose erhöht. Dabei ergab sich in der Entwicklung der Hefezellzahlen in Abb. 15 ein sehr ähnlicher Effekt wie bei der Variation des natürlichen Mosttrubes in Abb. 9.

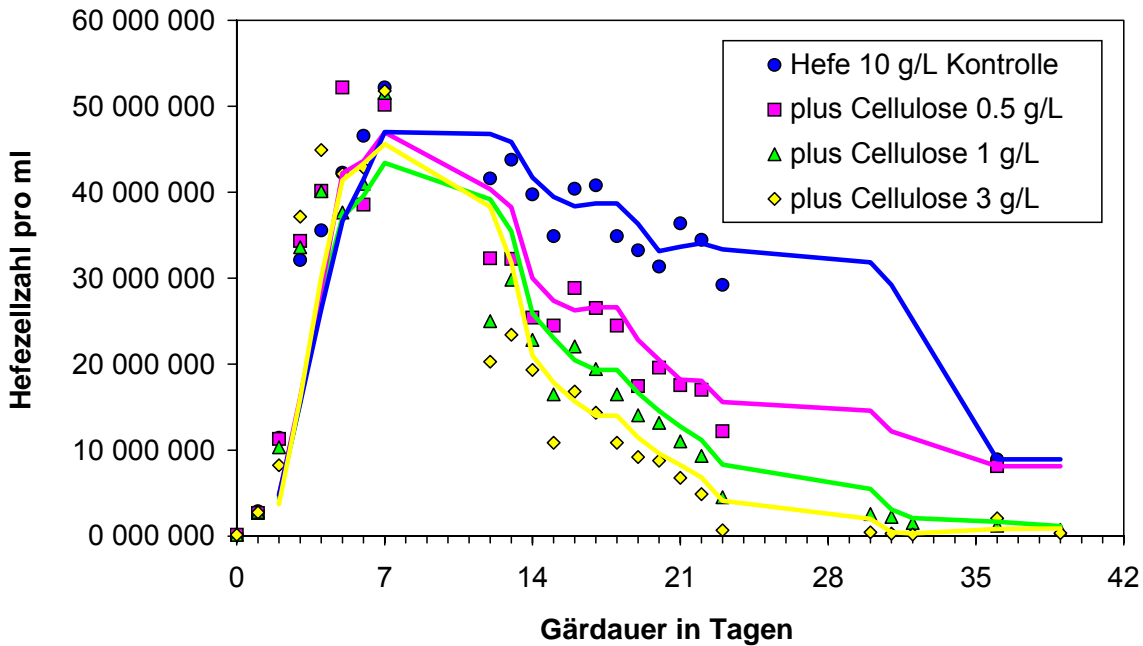


Abb. 15: Entwicklung der Hefezellzahl bei der Vergärung eines 1996er Rieslingmostes bei 15°C in Abhängigkeit des Zusatzes von Cellulose zur Erhöhung der inneren Oberfläche (10 Liter, n=2)

Während die ohne Cellulosezusatz vergärende Kontrolle eine längere stationäre Phase ausbildet, verkürzt sich diese mit Zunahme der Cellulosemenge deutlich. Es ist aber auffallend, dass die Cellulose nicht zu einer deutlichen Vermehrung der Zellzahlen wie im Falle der höchsten Trubvariante auf knapp 90 Mio. Zellen pro ml führte, sondern dass im Maximum zwischen dem 5. und 7. Gärtag die Zellzahlen aller drei Varianten sehr ähnlich um 50 Mio. lagen. Diese Beobachtung geht einher mit der Tatsache, dass im Gegensatz zur Variation des natürlichen Trubgehaltes in Abb. 10 die Cellulose in Abb. 16 keinen fördernden Einfluss auf die Gärkinetik besaß, da alle Gärkurven parallel verliefen. Die Praxis zeigt, dass die Hauptmasse der Cellulose sich frühzeitig am Boden der Gebinde absetzt und in einer späteren Gärphase mit geringer CO₂-Entwicklung kaum mehr Wirkung zeigt.

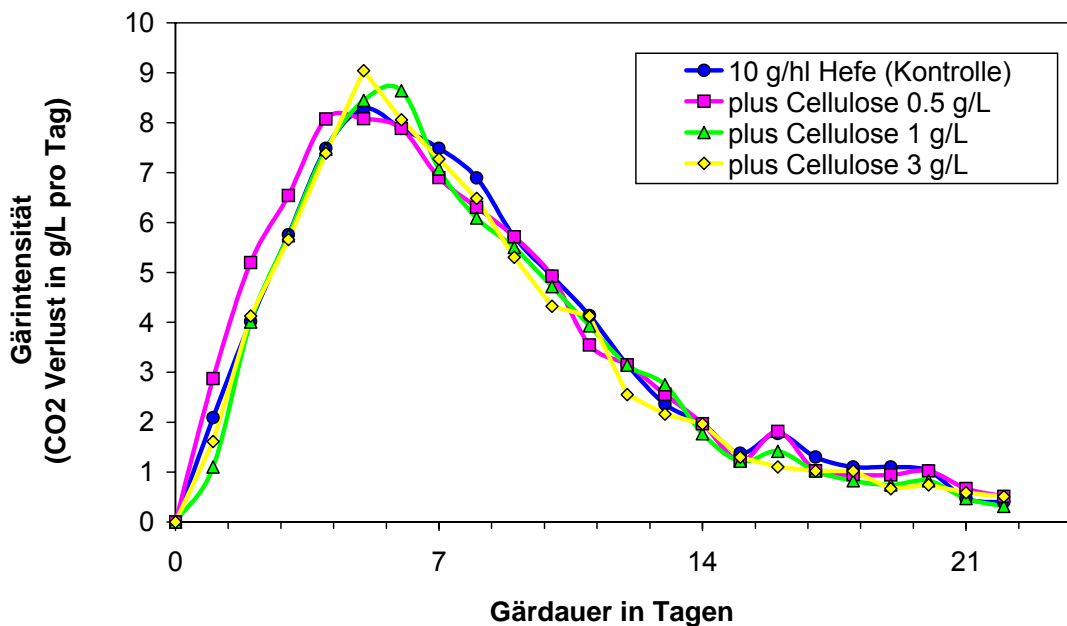


Abb. 16: Gärintensität eines 1996er Rieslingmostes in Abhängigkeit vom Cellulosezusatz zur Erhöhung der inneren Oberfläche (10 Liter, n=2)

Es liegt der Schluss nahe, dass die niedrigen Zellzahlen in Abb. 15 darauf zurückzuführen ist, dass durch das Absinken der Cellulose die Hefe rascher sedimentierte. Dies führte gerade zum Gegenteil des angestrebten Effekts der Cellulosegabe, nämlich zu einer Verringerung der in der Schwebelage befindlichen Hefezellen. Zusätzlich ist es wahrscheinlich, dass die Cellulose teilweise das Hefegeläge am Boden des Gärgebindes bedeckte.

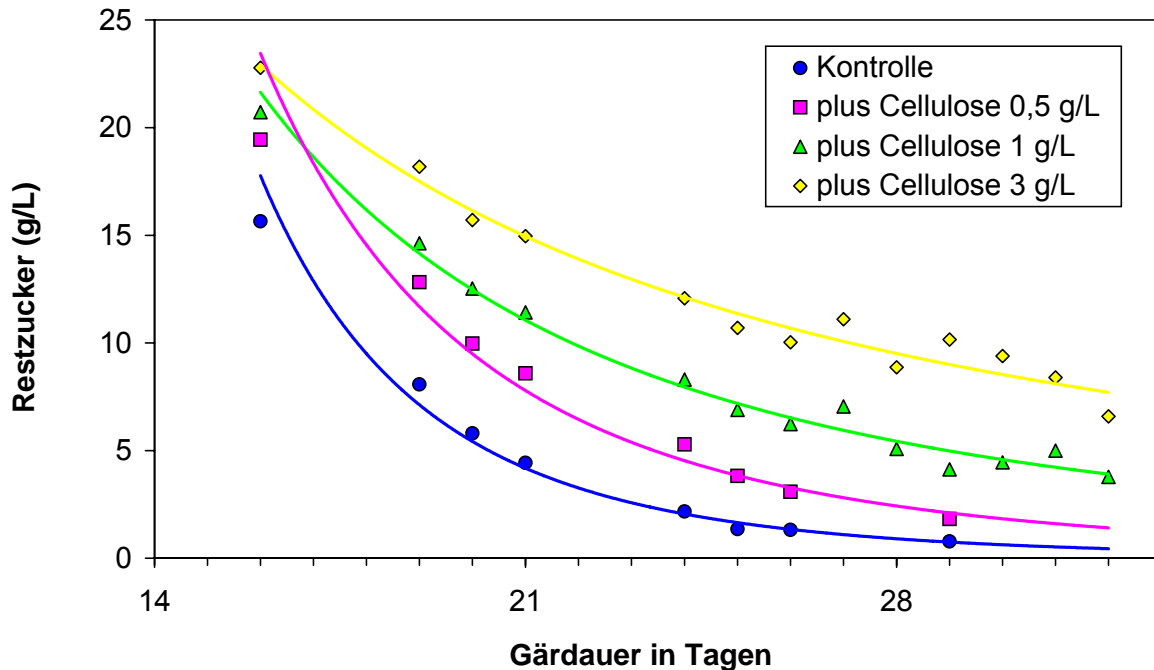


Abb. 17: Restzuckerabnahme zum Gärende eines 1996er Rieslingmostes bei 15°C in Abhängigkeit vom Zusatz von Cellulose zur Erhöhung der inneren Oberfläche (10 Liter, n=2)

Insgesamt führte die zur Förderung der Gärung eingesetzte Cellulose zu einer Gärverlangsamung, wie aus der schleppenden Restzuckerabnahme in Abb. 17 ersichtlich ist. Ansatzweise konnte in den beiden Varianten mit den höheren Cellulosezusätzen eine Gärstörung in beiden Wiederholungen festgestellt werden, da bei 1 g/l Cellulose die Gärung mit 4 g/l Restzucker endete, während der mit 3 g/l Cellulose versetzte Most bei 10 g/l Restzucker die Gärung abbrach (siehe Abb. 18). Interessant war die Feststellung, dass nach Zusatz von 3 g/l Cellulose sowohl der höchste Gesamtalkoholgehalt, als auch die höchsten Glycerinwerte vorlagen. Ob dieses Verhalten auch für praxisähnliche Gärgebände zutrifft ist jedoch fraglich.

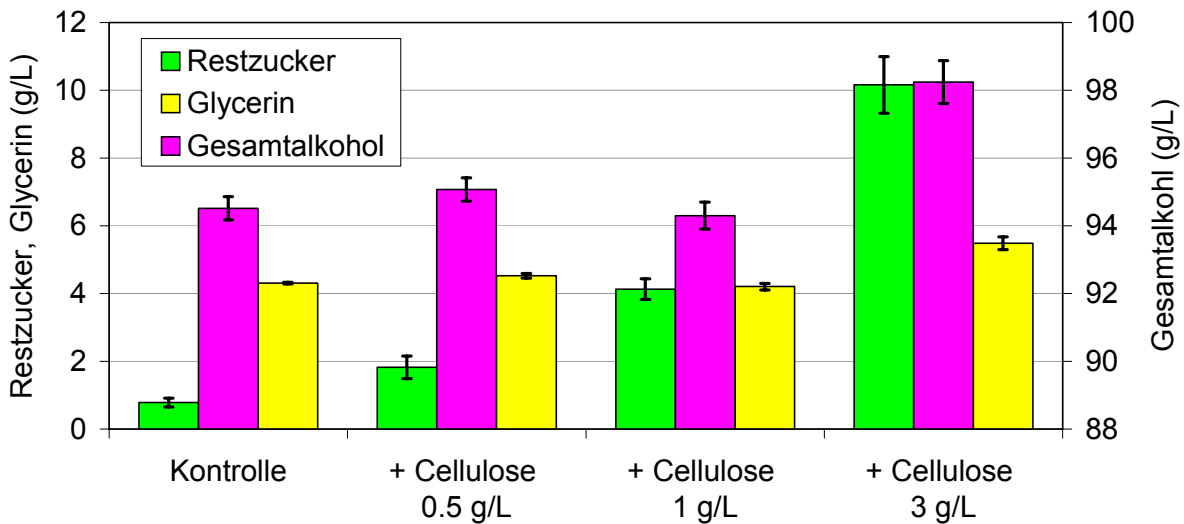


Abb. 18: Gehalte an Restzucker, Glycerin und Gesamtalkohol am Ende der bei 15°C durchgeführten Vergärung eines 1996er Rieslingsmostes (10 Liter) in Abhängigkeit von dem Zusatz an Cellulose zur Erhöhung der inneren Oberfläche (10 Liter, n=2)

Zusammenfassung Kapitel „Erhöhung des Trubgehaltes mit Cellulose“

Mit steigender Cellulosegabe beschleunigte sich die Hefevermehrung und verkürzte die stationäre Phase der Gärung, ohne aber Einfluss auf die tatsächliche Gärintensität zu haben.

Die Cellulose setzt sich frühzeitig am Boden des Gärgewinns ab und führt zu einer Abdeckung des Hefedepots, was die Tendenz zu erhöhten Restzuckerwerten bei steigenden Cellulosemengen erklären könnte.

Fazit:

Zugabe von Cellulose ist nicht geeignet den gärstimulierenden Effekt von erhöhten Trubgehalten bei stark vorgeklärten Mosten zu übernehmen und sollte daher nicht angewandt werden.

4.3 Erhöhung des Trubgehaltes mit Bentonit

Dieser Versuch wurde 1995 im Rahmen der Landesgärversuche des Arbeitskreises Oenologie in Rheinland-Pfalz in 600-l-Tanks durchgeführt. Der Versuchswein war ein am 19.10.1995 mit 87 °Oe gelesener Haardter Herrenletten Riesling Kabinett, der bei einem pH-Wert von 3,1 eine titrierbare Säure von 9,5 aufwies. Die Vergärung erfolgte in Wiederholung bei 18°C mit 20 g/hl Siha 3 Hefe der Firma Begerow. Während die Kontrolle ohne jegliche Mostschönung 18 Stunden vorgeklärt wurde, kam in der ersten Variante 2 g/l Calcium-Bentonit der Firma Erbslöh während der Mostvorklärung zum Einsatz und wurde mit dem Trub abgetrennt. In der zweiten Variante wurde nach erfolgter Vorklärung die gleiche Menge Bentonit eingesetzt und mitvergoren.

Der Gärverlauf der Nullvariante und Variante 1 stimmten stark überein. Die Gärung setzte nach 48 Stunden ein und nach 156 Stunden hatten die Zuckerwerte 2 g/l unterschritten. Die Temperaturkurve erreichte nach einer Gärdauer von 85 Stunden für 10 Stunden ein kurzfristiges Maximum um 25 °C. Die Wiederholungen von der Nullvariante und Variante 1 zeigten keinerlei Abweichungen.

Bei der Mitvergärung des Bentonits begann die stürmische Gärung ebenfalls nach 48 Stunden, verlief jedoch deutlich langsamer. So konnte erst nach 228 Stunden, also rund 3 Tage später als in der Nullvariante und Variante 1, die Zuckerkonzentration von 2 g/l unterschritten werden. Dies spiegelt sich auch in der Temperaturkurve wieder, die erst nach 120 Stunden ihr um 3 °C geringeres Maximum von 22 °C erreichte. Alle drei Variante gärten innerhalb von 11 Tagen komplett durch.

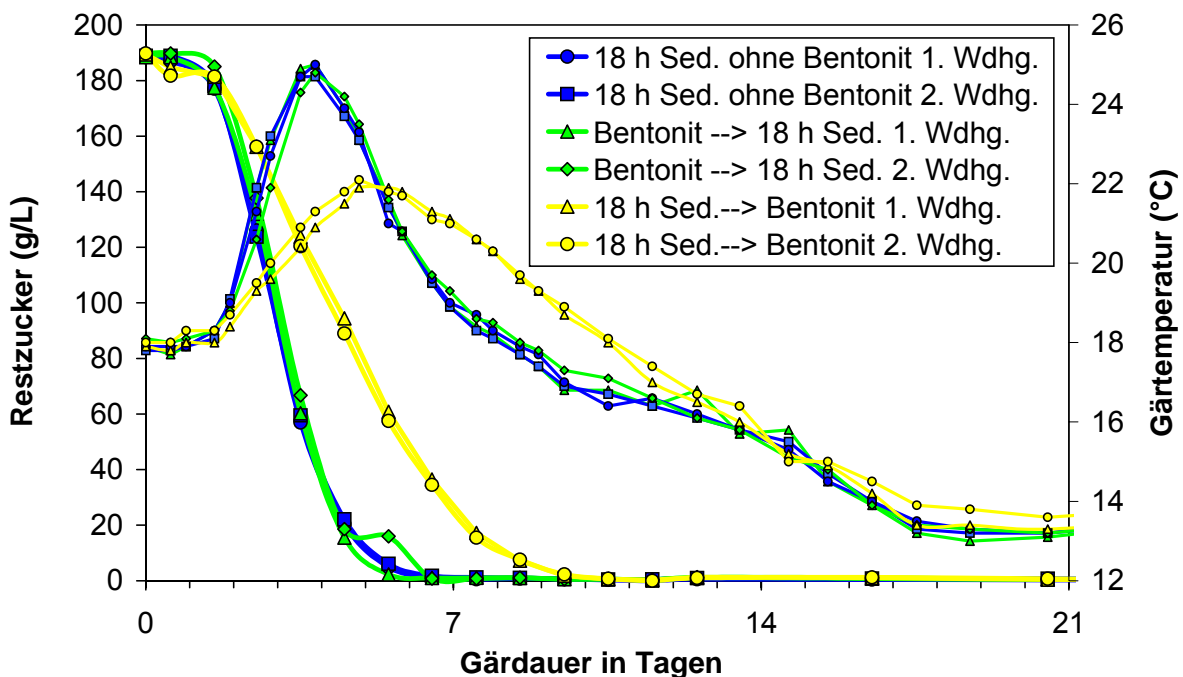


Abb. 19: Gärintensität und Gärtemperaturverlauf in einem 1995er Pfälzer Rieslingmost in 600-Liter-Tanks in Abhängigkeit von der Bentonitbehandlung

Auch in der chemischen Analyse wich die langsamer vergorene Variante 2 geringfügig von der Nullvariante und Variante 1 ab: Ihr pH-Wert war mit 3,1 geringfügig niedriger als in den Vergleichswinen (pH 3,2), die titrierbare Säure im Mittel 0,4 g/l höher, die Alkoholausbeute war im Mittel 1 g/l niedriger und die niedrigeren Werte an freier SO₂ bei höherer gesamter SO₂ belegen einen höheren SO₂-Bedarf von Variante 2. In den Kennwerten Gesamtextrakt, zuckerfreier Extrakt und vergärbarer Zucker gab es hingegen keine Abweichungen.

Aufgrund der guten Übereinstimmung der Wiederholungen scheint die Abweichung von Variante 2 im Gärverlauf signifikant zu sein. Entgegen der Intention mit dem im Gärgut verbleibenden Bentonit eine erhöhte Oberfläche zu schaffen und damit eine Gärbeschleunigung zu erzielen, trat genau das Gegenteil ein. Dies könnte damit erklärt werden, dass Bentonit aufgrund der Abgabe positiv geladener Calcium- und Natriumionen eine negative Ladung besitzt und damit die positiv geladenen Hefenährstoffe, vorrangig das Ammonium bindet und aus dem Gärmedium entzieht. Interessanterweise kam dieser Effekt nur bei der Vergärung in Anwesenheit des Bentonits, nicht aber bei der vorherigen Abtrennung des Bentonits in Variante 1 zum Tragen. Die bei gleichem Endvergärungsgrad um 3 Tage verlängerte Gärdauer und die um 3 °C verminderte Maximaltemperatur, lassen aber auch eine positive Bewertung des mitvergorenen Bentonits zu. Ähnlich wie bei der Cellulose scheint aber das zu Boden sinkenden Bentonit die Hefe stärker an den Tankboden zu verlagern, was sicherlich zu dem verlangsamten Gärverlauf beigetragen.

Aufgrund des gleichen Restzuckergehaltes konnte ein sensorischer Unterschiedstest in Form eines Dreieckstests mit 11 Prüfern durchgeführt werden. Bei keinem Vergleich der drei Varianten untereinander konnte jedoch ein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Im Jahr 1996 wurde der Effekt der Bentonitzugabe erneut im Rahmen Landesgärversuches des Arbeitskreises Oenologie und Kellerwirtschaft untersucht. Hierzu wurde ein Mussbacher Glockenzehnt Riesling Kabinett, der am 22.10.1996 mit einem Mostgewicht von 84 °Oe, einer titrierbaren Säure von 12,5 g/l bei einem pH-Wert von 3,1 gelesen wurde, in 600-Liter-Tanks in den folgenden 6 Versuchsvarianten vergoren:

- Variante 1: 18 Stunden absetzen lassen, kein Bentonitzusatz (wie 1995)
- Variante 2: Zusatz von 2 g/l Ca-Bentonit-Zusatz, 18 Stunden absetzen lassen, Entfernung des Bentonittrubes vor der Vergärung (wie 1995)
- Variante 3: 18 Stunden absetzen lassen, Zusatz von 2 g/l Ca-Bentonit-Zusatz, der mitvergoren wurde (wie 1995)
- Variante 4: Filtration des mit 2 g/l Ca-Bentonit geschönten Mostes über den Vakuumdrehfilter und Hefefilter, so dass mit weniger als 0,1 Gew.% Trub vergoren wurde.
- Variante 5: Filtration des mit 2 g/l Ca-Bentonit geschönten Mostes über den Vakuumdrehfilter und Hefefilter, so dass mit weniger als 0,1 Gew.% Trub vergoren wurde, Zugabe von 1 g/l Cellulose
- Variante 6: Filtration des mit 2 g/l Ca-Bentonit geschönten Mostes über den Vakuumdrehfilter und Hefefilter, so dass mit weniger als 0,1 Gew.% Trub vergoren wurde, Zugabe von 0,4 g/l Heferindenpräparat

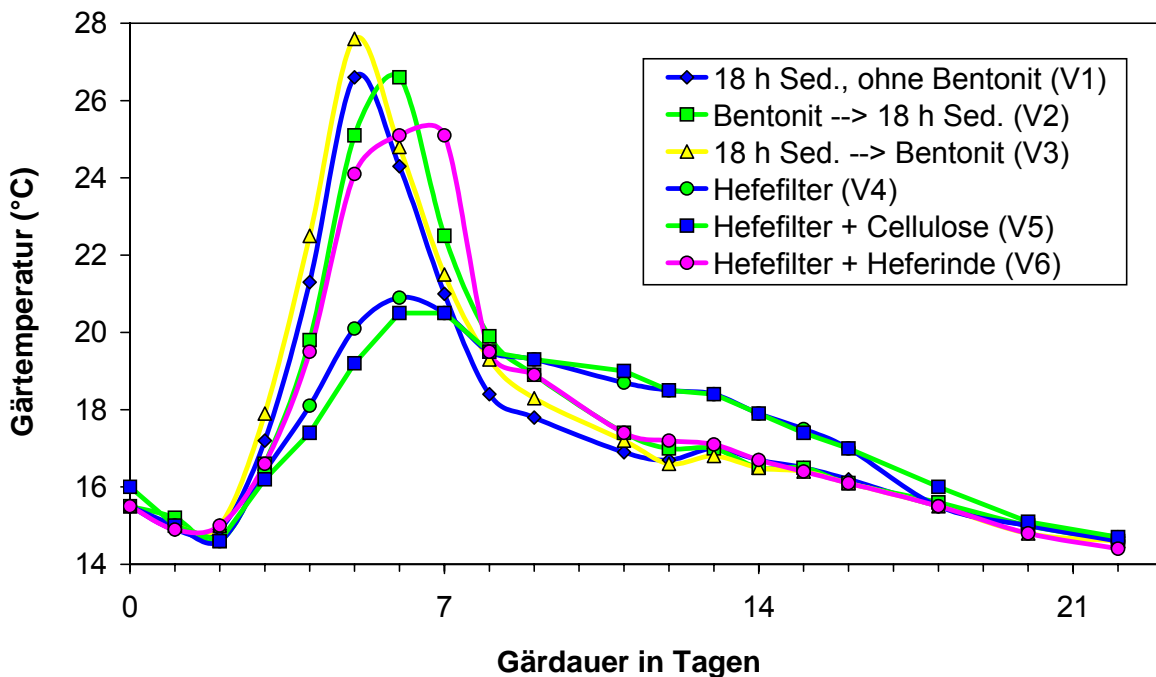


Abb. 20: Gärtemperaturverlauf in einem 1996er Pfälzer Rieslingmost in 600-Liter-Tanks in Abhängigkeit von der Mostbehandlung

Im Gegensatz zu dem Ergebnis von 1995 konnte zeigte diesmal die mit Bentonit vergorene Variante die geringfügig höchste Gärtemperatur, was auf einen raschen Gärverlauf schließen lässt, während die Variante, bei der das Bentonit vor der Gärung abgetrennt wurde, geringfügig niedrigere Gärtemperaturen lieferte.

Tab. 2: Weinchemische Charakterisierung eines 1996er Riesling Kabinett in Abhängigkeit der Mostvorklä- rung und Mostbehandlung

Mostbehandlung Variante	pH- Wert	titr. Säu-	Gesamt- alkohol	Vorhandener		zuckerf. Extrakt	Rest- zucker	relative Dichte	
		re		g/l	Vol %				g/l
		g/l	g/l	Vol %	g/l	Vol %	g/l	g/l	d _{20/20}
18 h Sedimentation, ohne Bentonit	3,1	10,5	90,3	11,44	89,5	11,34	21,5	1,6	0,9954
18 h Sedimentation, mit Bentonit	3,0	10,3	91,5	11,59	91,1	11,54	23,6	0,9	0,9942
18 h Sedimentation, mit Bentonit vergoren	3,1	10,2	91,6	11,6	91,3	11,56	23,3	0,7	0,9940
Klärung mit Hefefilter	3,1	8,6	91,1	11,54	89,5	11,34	22,4	3,5	0,9950
Klärung mit Hefefilter plus Cellulose	3,2	7,5	91,4	11,58	90,0	11,4	21,3	2,9	0,9943
Klärung mit Hefefilter plus Heferinde	3,1	10,5	90,3	11,44	89,8	11,37	25,2	1,1	0,9951

Auch wenn die Gärbeeinflussung des mitvergorenen Bentonits zwischen 1995 und 1996 abwich, so kann dem Bentonit weder eine eindeutig gärhemmende noch gärfördernde Wirkung attestiert werden. Es muss darauf hingewiesen werden, dass 1995 der tatsächliche Gärverlauf anhand der Abnahme der

Zuckergehalte aufgezeichnet wurde, während 1996 nur die Gärtemperatur zur Charakterisierung des Gärverlaufs herangezogen wurde.

Die starke Vorklärung durch den Hefefilter verlangsamte 1996 die Gärung, ohne jedoch wie aus Tab. 2 ersichtlich ist, an der kompletten Vergärung hindern. Die Gärtemperatur blieb in der filtrierten Variante 4 mit maximal 20,5 °C bis zu 7 °C niedriger als in den anderen Varianten. Während die Zugabe von 1 g/l Cellulose den Gärverlauf nicht beeinflussen konnte, vermochte die Zugabe der höchst zulässigen Menge von 0,4 g/l Heferindenpräparat (Proferm, Firma Begerow) die gärverzögernde Wirkung der starken Vorklärung aufzuheben und die Gärkurve verlief ähnlich wie bei den drei unfiltrierten Varianten 1 - 3.

Bei dem weinanalytischen Vergleich der 6 Varianten konnten die langsamer gärenden, stark vorgeklärten Varianten nicht gänzlich durchgären und es verblieben Restzuckergehalt von 3,5 und 2,9 g/l (Tab. 1). Die Gesamtalkoholwerte unterschieden sich maximal um 1,3 g/l. Die Bentonitschönung in Variante 2 und 3 erhöhten den zuckerfreien Extrakt um rund 2 g/l, sowie den Gesamtalkoholgehalt um 1 g/l. Durch die scharfe Filtration fiel der zuckerfreie Extrakt gegenüber der Kontrolle nicht ab, obwohl die titrierbare Säure, die maßgeblich den zuckerfreien Extrakt mitbestimmt, um 2 bis 3 g/l niedriger lag, wahrscheinlich durch einen partiellen biologischen Säureabbau aufgrund der verzögerten Gärung. Auffällig war die Erhöhung des zuckerfreien Extraktes um 3,7 g/l durch die Zugabe des Heferindenpräparates, bei konstanter Säure. Wie 1998 in einer ähnlichen Versuchsanstellung auch analytisch belegt werden konnte, kann die Erhöhung des zuckerfreien Extrakts vornehmlich durch eine gesteigert Glycerinbildung erklärt werden.

Zusammenfassung Kapitel „Erhöhung des Trubgehaltes mit Bentonit“

- Wird Bentonit mitvergoren, trat 1995 aufgrund der vermeintlicher erhöhten inneren Oberfläche keine Gärstimulierung ein, sondern genau das Gegenteil, eine Gärverlangsamung, die u.a. durch die Abdeckung des Hefedepots mit Bentonit erklärt werden könnte.
- Im Jahrgang 1996 konnte bei gleicher Versuchsanstellung dieser Befund nicht reproduziert werden, da das Bentonit während der Gärung eher stimulierend als störend wirkte.

Fazit:

Trotz unterschiedlicher Gärverläufe in beiden untersuchten Jahrgängen kann man das mitvergorenen Bentonit weder als Ursache von Gärstörungen, noch als ein geeignetes Mittel zur Vermeidung von Gärstörungen einstufen. Daher sollte es mit dem Mosttrub abgetrennt werden.

4.4 Säuregehalte und pH-Werte der Moste

Während 1997 keine Korrelation zwischen dem Endvergärungsgrad und dem pH-Wert ($R^2=0,011$) einerseits und der titrierbaren Säure ($R^2=0,003$) andererseits bestand, korrelierte in dem auf das Weingut 2 beschränkte Datensatz von 1995 in Abb. 21 der Endvergärungsgrad negativ mit der Mostsäure ($R^2=0,295$) und positiv mit dem pH-Wert ($R^2=0,486$). Dies stimmt mit der Beobachtung in der Praxis überein, dass später geerntete, höherwertige und in der Mostsäure reduzierte Moste eher Gärprobleme zeigen als früher geerntete niedergradige Moste. Ob dies aber an einer über die Reifezeit sich verändernden Mostzusammensetzung oder an den mit den späteren Leseterminen sinkenden Kellertemperaturen hängt, kann nicht eindeutig geklärt werden. Für den 1995er Datensatz jedenfalls konnte weder für das Lesedatum, das Ertragsniveau, noch das Mostgewicht eine eindeutig positive Korrelation mit dem Endvergärungsgrad etabliert werden (siehe Abb. 21).

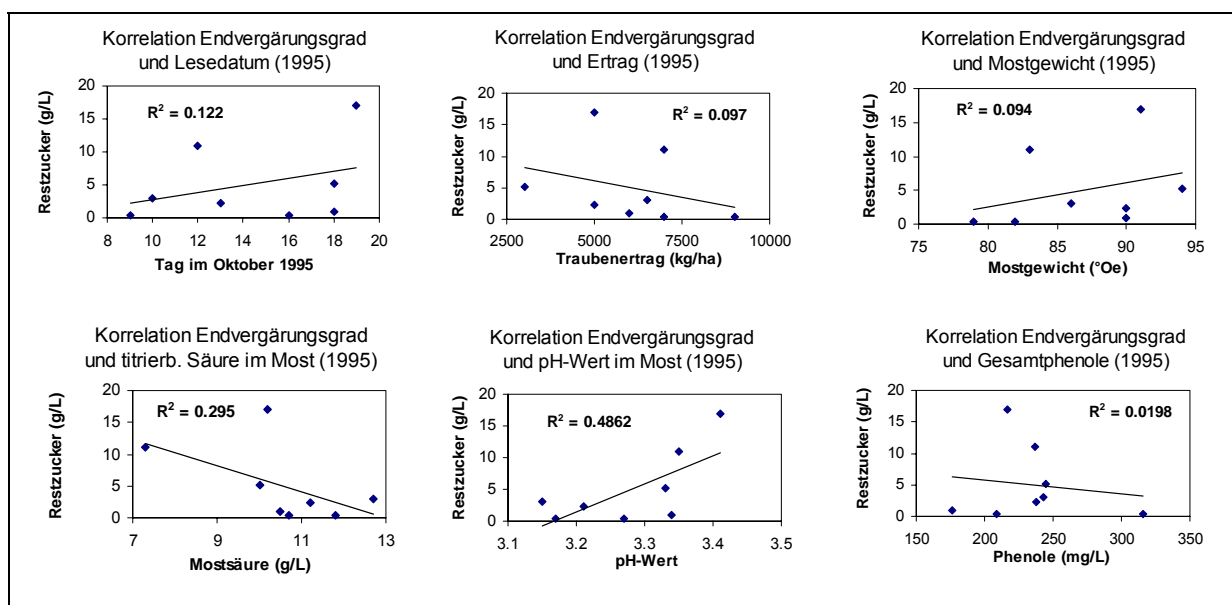


Abb. 21: Korrelation mit Angabe des Bestimmtheitsmaßes R^2 des Endvergärungsgrad mit Lesedatum, Ertrag, Mostgewicht, Mostsäure, pH-Wert im Most und Gesamtphenolen im Jahrgang 1995 in Weinen aus dem Weingut 2 in der Pfalz

Zusammenfassung Kapitel „Säuregehalte und pH-Werte des Mostes“

Fazit:

Weder niedrigen oder hohen Säuregehalten oder pH-Werten konnte ein ursächlicher Einfluss auf das Auftreten von Gärstörungen nachgewiesen werden. Dies dürfte u.a. mit der durchweg hohen Kaliumversorgung der Moste auch bei niedrigen pH-Werten erklärt werden.

4.5 Phenolgehalt

Die Ganztraubenpressung mit ihrer geringen mechanischen Belastung und verminderten Mostausbeuten wird ebenfalls als eine mögliche Ursache für das verstärkte Auftreten von Gärstörungen diskutiert. Dies sollte anhand des Gesamtphenolgehaltes überprüft werden, der bei der konventionellen Pressung meist höher liegt als bei der Ganztraubenpressung. Sowohl 1995 ($R^2=0,020$) als auch 1997 ($R^2=0,002$)

konnte jedoch keine aussagekräftige negative Korrelation zwischen dem Phenolgehalt und dem Endvergärungsgrad ermittelt werden, der diese Hypothese gestützt hätte.

Zusammenfassung Kapitel „Phenolgehalt“

Fazit:

Da keine Beziehung zwischen dem Gesamtphenolgehalt und dem Auftreten von Gärstörungen auftrat, kann der Ganztraubenpressung keine Förderung von Gärstörungen attestiert werden.

4.6 Hefeinsaat und Hefestamm

Wie im Kapitel Hefephysiologie erklärt wurde, bedarf es der Anwesenheit von Sauerstoff, um über die sehr viel effizientere Veratmung von Zucker ausreichend Energie zum Aufbau neuer Zellmasse zu gewinnen. Somit ist die Wachstumsphase der Hefe auf den kurzen Zeitraum während des Angärens des Mostes beschränkt, in dem noch ausreichend Sauerstoff im Most gelöst vorliegt. Da moderne Reinzuchthefen bereits unter optimaler Dosierung von Sauerstoff aufgezogen worden sind, besitzen sie bereits ein gut gefülltes Reservoir an den Überlebensfaktoren Ergosterol und ungesättigten Fettsäuren, die sie später zur Aufrechterhaltung ihrer Membrane gegen den steigenden Alkoholgehalt unbedingt benötigen. Meist durchlaufen die Hefen unter normalen kellerwirtschaftlichen Bedingungen 5 bis 7 Knospungsvorgängen. Mit jeder Ausbildung einer neuen Tochterzelle verringert sich das Reservoir der Überlebensfaktoren und somit ist dem Vermehrungsgrad der Hefe nicht nur von der Verfügbarkeit des Sauerstoffs Grenzen gesetzt. Es ist daher eine irriige Annahme, man könnte die Hefeinsaatmenge deswegen gering halten, da die Hefe über ein paar zusätzliche Vermehrungszyklen auch bei einer geringen Einsaatmenge die gewünschte Hefedichte von 100 Mio. Zellen pro ml erreichen kann. Diese zusätzlichen Vermehrungszyklen sind aber nur dann ohne qualitative Einbußen realisierbar, wenn der Hefe während der Anzuchtphase ausreichend Sauerstoff zur Verfügung gestellt wird, so dass aufgrund in einer verlängerten exponentionellen Wachstumsphase mittels der hohen Energieausbeute der Atmung auch die wichtigen Überlebensfaktoren synthetisiert werden können.

Mit der überlicherweise empfohlenen Einsaatmenge von 10 bis 20 g/hl wird der Most mit rund 10 Millionen Hefezellen pro ml beimpft. Es bedarf nun der angesprochenen 7 Teilungen, um die angestrebten 100 Mio. Hefezellen pro ml Most zu erreichen, die für eine komplette alkoholische Gärung wünschenswert sind. Der Einfluss einer unterschiedlichen Einsaatmenge der gleichen Reinzuchthefer (Siha 3) wurde in den Gärversuchen 1996 in 10-Liter-Behältnissen untersucht.

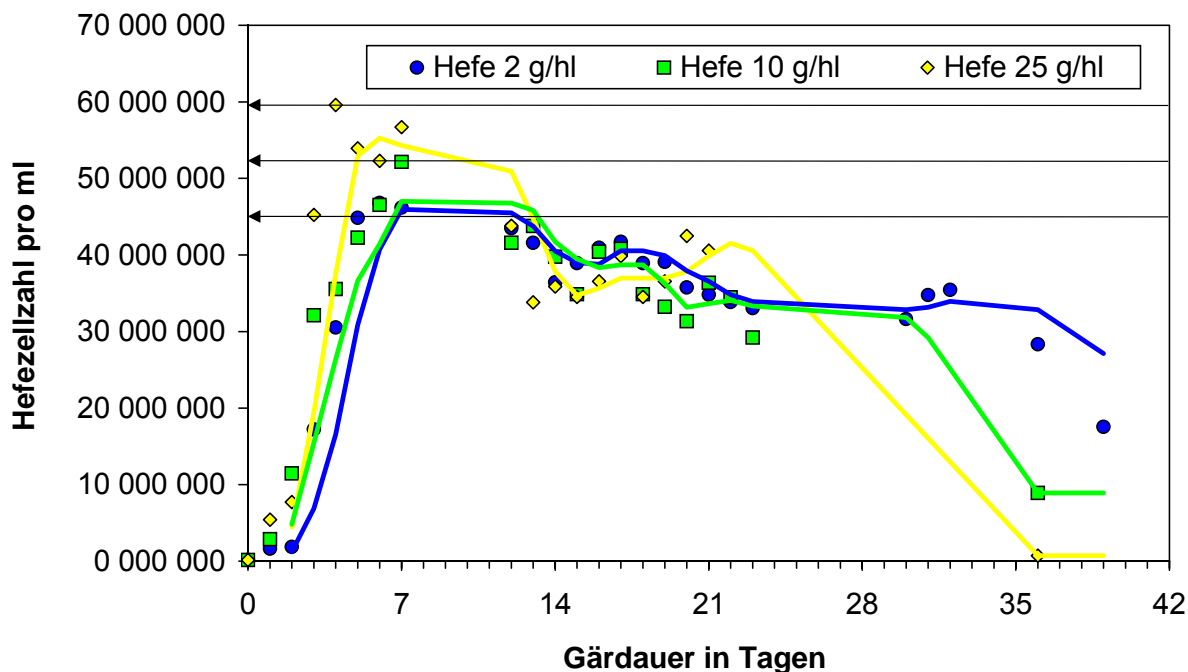


Abb. 22: Entwicklung der Hefezellzahl bei der Vergärung eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit der Hefeinsaatmenge (10 Liter, n=2)

Dabei zeigte sich in Abb. 22 deutlich, dass mit der höchsten Einsaatmenge die höchste Zelldichte von 60 Mio. Zellen/ml erreicht wurden, während eine Hefeinsaat von 10 g/hl nur maximal 52 Mio. Zellen pro ml produzierte und die geringste Einsaatmenge von 2 g/hl bereits bei 45 Mio. Zellen pro ml ihr Maximum beschrieb. Aufgrund dieses zu geringen Hefebesatzes zog sich die Gärung sehr lange hin, was an der ausgeprägten stationären Phase zu erkennen ist.

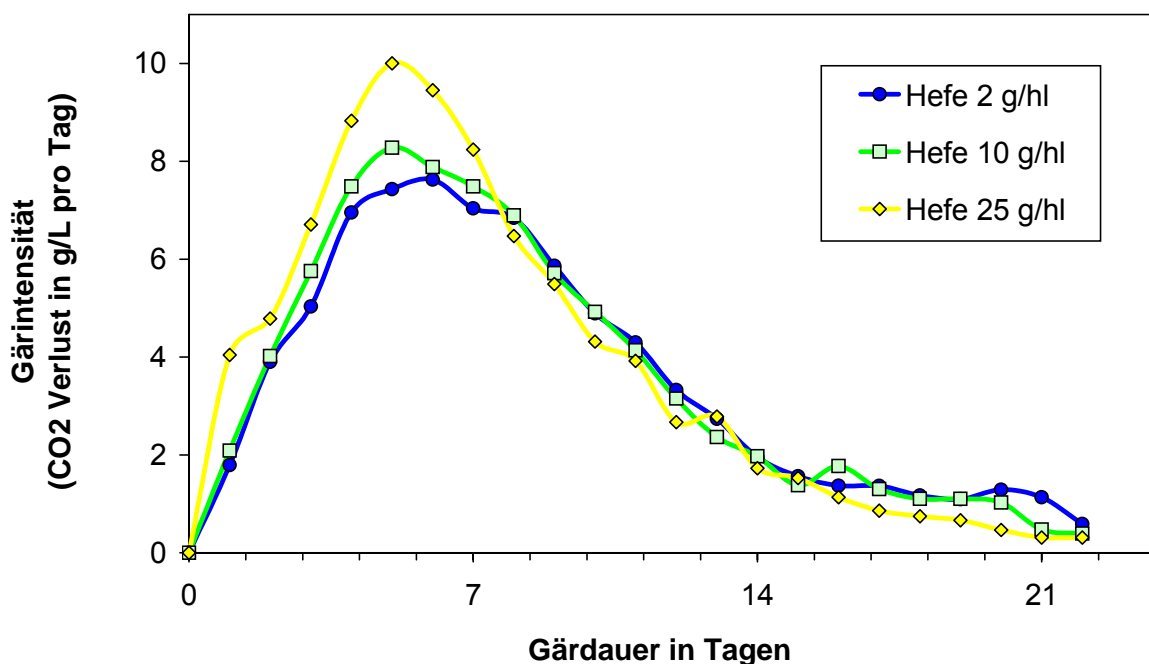


Abb. 23: Gärintensität eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit von der Hefeinsaat (10 Liter, n=2)

Die höhere Hefeinsaatmenge verursachte die stürmischste Gärung (siehe Abb. 23), während bei geringeren Hefedosagen von 10 g/hl und 2 g/hl im Gärmaximum deutlich weniger CO₂ produziert wurde. Trotz der relativ ähnlich verlaufenden Gärkurven konnte die mit nur 2 g/hl angeimpfte Variante mit einem Restzuckergehalt von 9 g/l nicht durchgären was in Abb. 24 angedeutet wird.

Viele Betriebe, die mit Gärstörungen in den vergangenen Jahren konfrontiert waren, erhöhten über die Jahre ihre Einsaatmengen bis auf das Doppelte der empfohlenen Dosis und konnten gute Erfolge in der Vermeidung von Gärstörungen erzielen.

In dem Kapitel physiologischen Grundlagen der Gärstörungen wurde mehrfach angesprochen, dass sowohl die Ausstattung der Hefemembran mit Zuckertransportern, als auch die Alkoholtoleranz und das Aufnahmevermögen an Stickstoffkomponenten sehr stark stammspezifisch sei. Es würde den Rahmen dieses Forschungsvorhabens sprengen, verschiedene Hefestämme bezüglich ihres Gärvermögens zu charakterisieren, aber im späteren Kapitel zur Vermeidung von Gärstörungen sollen einige Hefestämme benannt werden, die sich in der Praxis als sehr gärkräftig bewiesen haben. Dabei darf aber nicht der starke Einfluss eines spezifischen Jahrgangs unberücksichtigt bleiben: Während im Jahrgang 1997 das Hefepräparat VB1 (Gist-Brocades), dem der in Colmar selektionierte Stamm EG8 zugrunde liegt und gleichzeitig auch in den Hefepräparaten Uvaferm CS8 und Anaferm 4 angeboten wird, sich zur sicheren Vergärung spät gelesener Moste auszeichnete, verursachte er in dem von Gärstörungen kaum heimgesuchten Jahrgang 1999 in der Pfalz nur erhöhte Energiekosten, um die sehr stürmische Gärung mittels verstärkter Kühlung zu bändigen. An dieser Stelle sei auf die umfangreichen Arbeiten der Arbeitsgruppe Rauhut/Großmann in Geisenheim verwiesen (Rauhut et al., 1996b), die verstärkt stammspezifische Eigenschaften des Stickstoffhaushaltes der Hefen untersuchen.

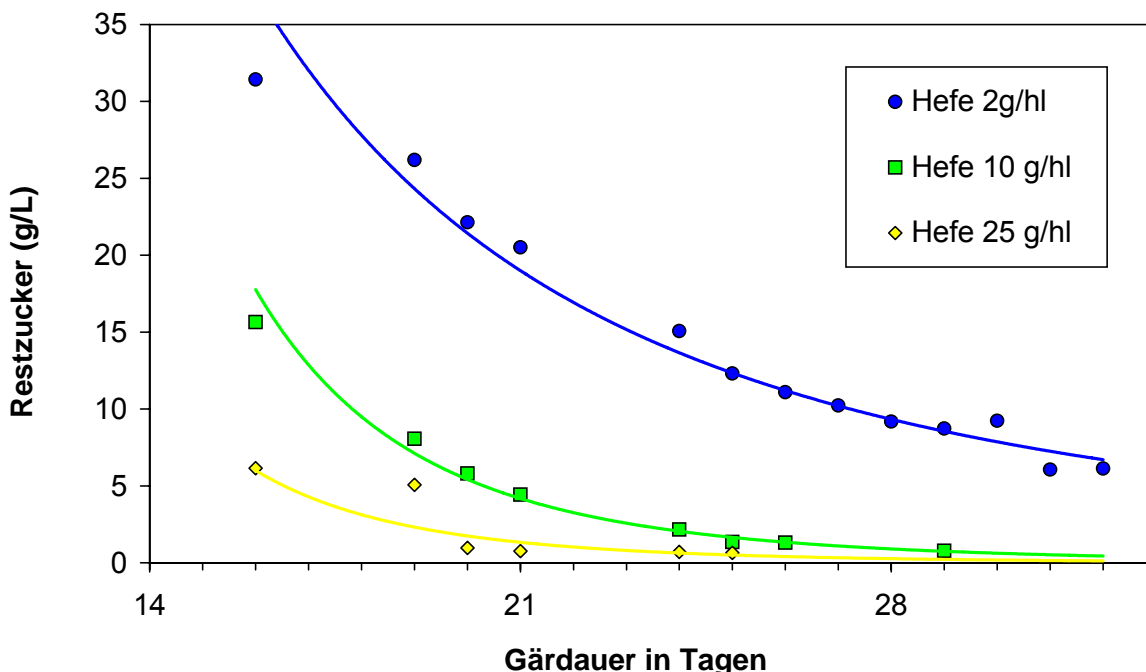


Abb. 24: Restzuckerabnahme zum Gärende eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit von der Hefeinsaatmenge (10 Liter, n=2)

Zusammenfassung Kapitel „Hefeinsaat und Hefestamm“

- Reinzuchthefen sind aufgrund ihrer sehr aeroben Anzucht grundsätzlich vitaler als die Hefen der Spontanflora und besitzen eine bessere Ausstattung an Überlebensfaktoren.

-
- Mit jeder neuen Generation an Tochterzellen verringert sich die Ausstattung der Hefezellen mit Überlebensfaktoren, da bei fehlender Sauerstoffversorgung keine weiteren Überlebensfaktoren von den Tochterzellen synthetisiert werden können. Es ist daher eine irriige Annahme, dass geringe Hefeinsaatmengen durch eine verlängerte Vermehrungsrate ausgeglichen werden können.
 - Eine Hefeinsaatmenge von weniger als 10 g/hl führte zu einer deutlich verlangsamten Gärung, die bei 9 g/l Restzucker endete.
 - Der einzelne Hefestamm hat einen großen Einfluss auf das Durchgären von Mosten, der aber auch stark jahrgangsabhängig ist.

Fazit:

Wer Gärstörungen vermeiden will sollte eine spontane Vergärung der Moste vermeiden und nicht an der Hefeinsaatmenge sparen.

4.7 Natürliche Stickstoffversorgung

Das vermehrte Auftreten der Gärstörungen in den 90er Jahren wird in der Praxis oftmals mit der Einschränkung oder Einstellung der Stickstoffdüngung ab Mitte der 80er Jahre und der gleichzeitigen vermehrten Etablierung einer Dauerbegrünung in Verbindung gebracht, die bei ungenügender Stickstoffversorgung oder Wassermangel mit der Rebe in Konkurrenz um den raren Stickstoff tritt. Umfangreiche Untersuchungen durch Prior, Löhnertz und Rauhut (Prior, 1997; Rauhut et al., 1996b) konnten belegen, dass Moste aus wassergestressten oder stickstoffunterversorgten Weinbergen der Hefe eine unzureichende Ausstattung an Stickstoffkomponenten bietet, um die komplette Vergärung der Weine zu gewährleisten. Wie in dem Kapitel physiologische Grundlagen der Gärstörungen umfassend dargelegt, nimmt die Hefe den Stickstoff in Form von Aminosäuren und Ammonium auf. Nur die Aminosäure Prolin, die gerade in trockenen Jahren einen hohen Anteil des Gesamtstickstoffs im Traubenmost bestreitet, kann nicht von der Hefe genutzt werden, da zur Spaltung dieser zyklischen Verbindung Sauerstoff benötigt wird, der während der Gärung nicht vorliegt. Die bevorzugten Stickstoffquellen der Hefe sind die Aminosäuren Glycin, Arginin und Ammonium.

4.7.1 Hefeverwertbarer Stickstoff im Most

Eine sehr einfache Methode zur Ermittlung des Gehaltes an freiem Aminosäure-Stickstoff (siehe Abb. 25 und Abb. 26) stellt die Formoltitration dar (Trioli, 1996; Henick-Kling et al., 1996), die das nicht hefeverwertbare Prolin nicht erfaßt.

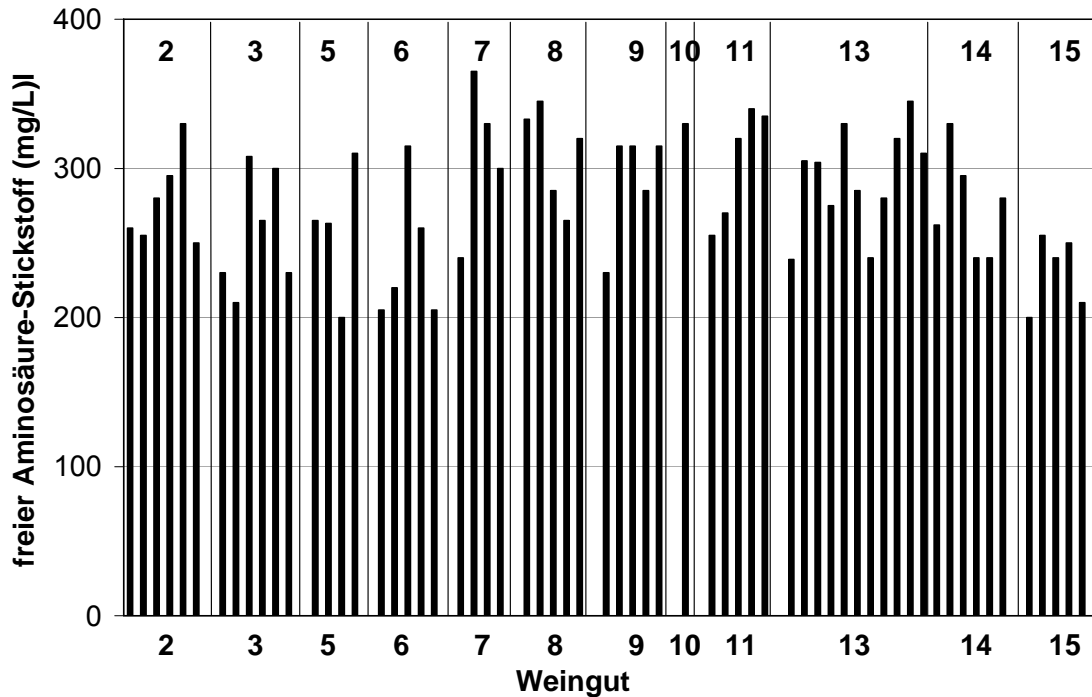


Abb. 25: Gehalt an freiem Aminosäure-Stickstoff (Formolzahl x 10) in gärfähigen Gebinden in 12 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1996 (n=74)

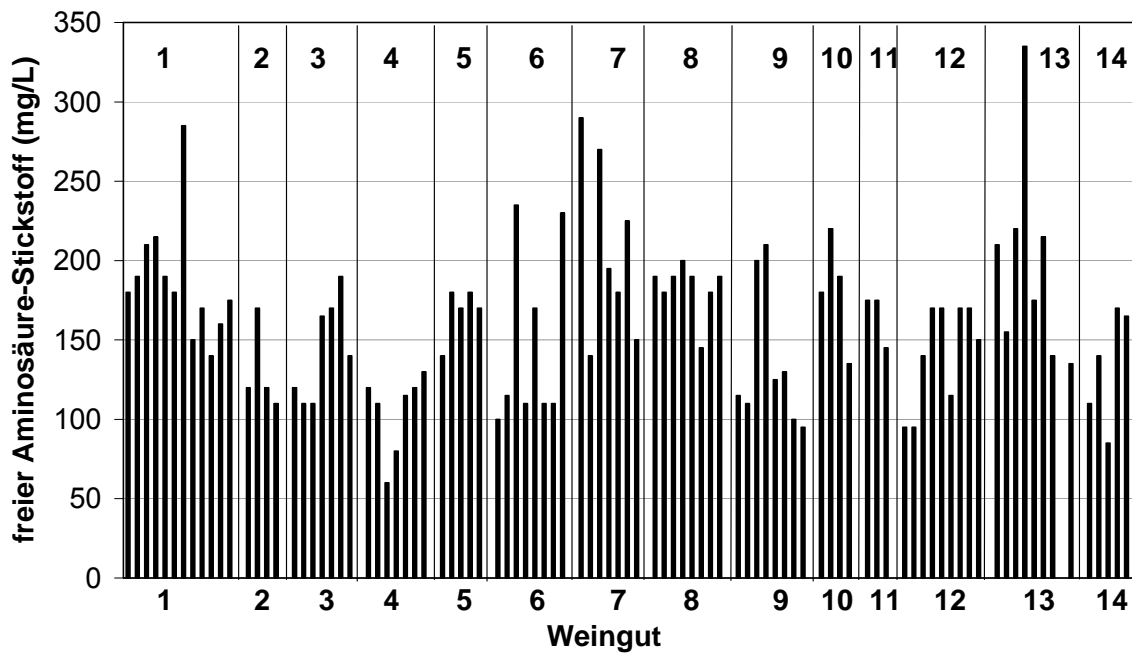


Abb. 26: Gehalt an freiem Aminosäure-Stickstoff (Formolzahl x 10) in gärfähigen Gebinden in 14 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1997 (n=83)

In den vornehmlich von der Rebsorte Riesling stammenden Proben schwankte die Versorgung der Moste bezüglich des freien Aminosäure-Stickstoffs 1996 recht einheitlich zwischen 200 und 365 mg/l (Abb. 25), während 1997 eine größere Schwankungsbreite zwischen 60 und 335 mg/l beobachtet wurde (Abb. 26). Damit liegt die Versorgung an freiem Aminosäure-Stickstoff 1996 deutlich über den Werten, die von Henick-Kling et al. 1993 (62-128 mg/l) und 1994 (85-170 mg/l) für die Rebsorte Riesling im Staat New York in der USA gemessen wurde (Henick-Kling et al., 1996). 1997 hingegen gab es zahlreich Partien, die nur 100 mg/l freiem Aminosäure-Stickstoff aufwiesen, und nur 5 % aller Moste wiesen mehr als 235 mg/l auf. 42 % aller Moste lagen unterhalb des absoluten Mindestmaß an freiem Aminosäure-Stickstoff von 150 mg/l. Dabei ist interessant, die unterschiedliche starke Schwankungsbreite innerhalb der einzelnen Betriebe zu beobachten. Während das Weingut 2, 3, 4, 5 und 12 recht einheitliche Werte aufwiesen, streuten die Werte im Weingut 1, 7 und 13 um mehr als 100 %.

In beiden Jahrgängen konnte kein Most die empfohlenen 400 bis 500 mg/l an freiem Aminosäure-Stickstoff erreichen.

Um jedoch die hefeverwertbare Stickstoffversorgung (siehe Abb. 28) komplett erfassen zu können, muss dem Gehalt an freiem Aminosäure-Stickstoff die Konzentration des ebenfalls hefeverwertbaren Ammoniums (siehe Abb. 27) hinzugerechnet werden. Bei der Erfassung des Ammoniums war es besonders wichtig, dass die Probennahme vor der Zugabe von Gärsalz erfolgte.

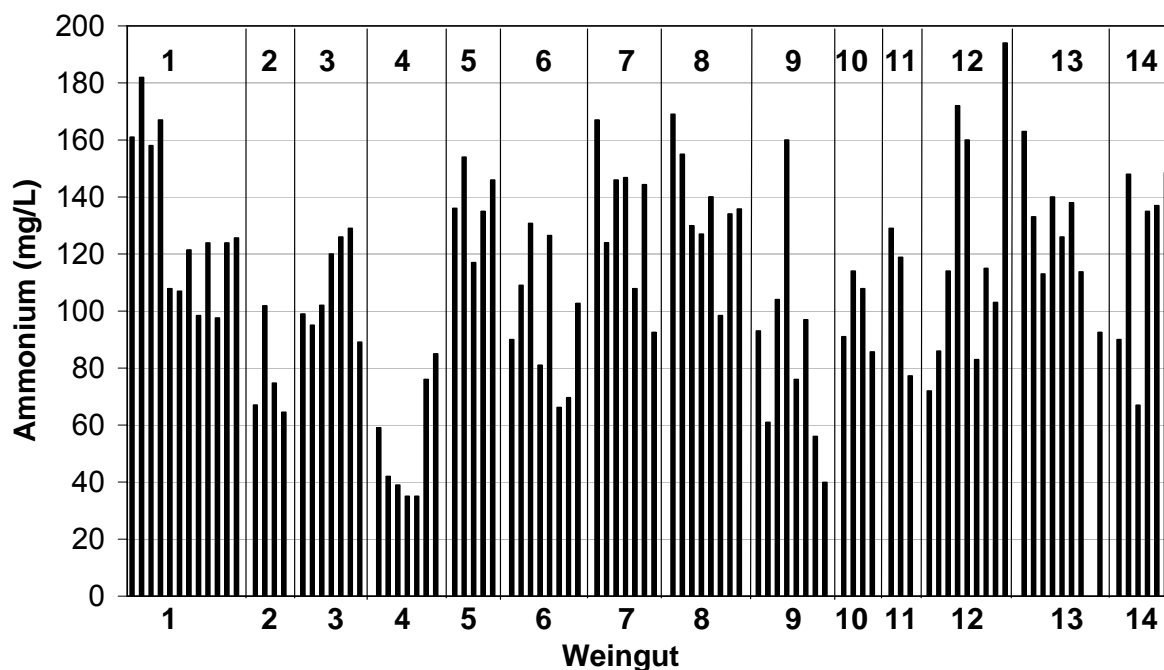


Abb. 27: Gehalt an Ammonium in gärfähigen Gebinden in 14 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1997 (n=83)

Die Ammoniumgehalte im Jahrgang 1997 in Abb. 27 schwankten zwischen 35 und 190 mg/l und weisen eine ähnlich große Streubreite wie der freie Aminosäure-Stickstoff in Abb. 26 auf. Erneut traten starke Schwankungen innerhalb der Betriebe auf.

Die Werte aus der Pfalz für den Jahrgang 1997 stimmen an der unteren Grenzen des Streubereichs mit den von Henick-Kling aus New York berichteten Daten überein, der in neun Riesling-Weinen 1993 eine Variation von 39 – 61 mg/l fand und 1994 zwischen 44 – 82 mg/l. Als Erklärung für die relativ hohen Werte kann unter anderem der gute Gesundheitszustand der Trauben im Jahrgang 1997 herangezogen werden, da auch der Botrytis-Pilz einen beträchtlichen Verbrauch an Stickstoffkomponenten aufweist.

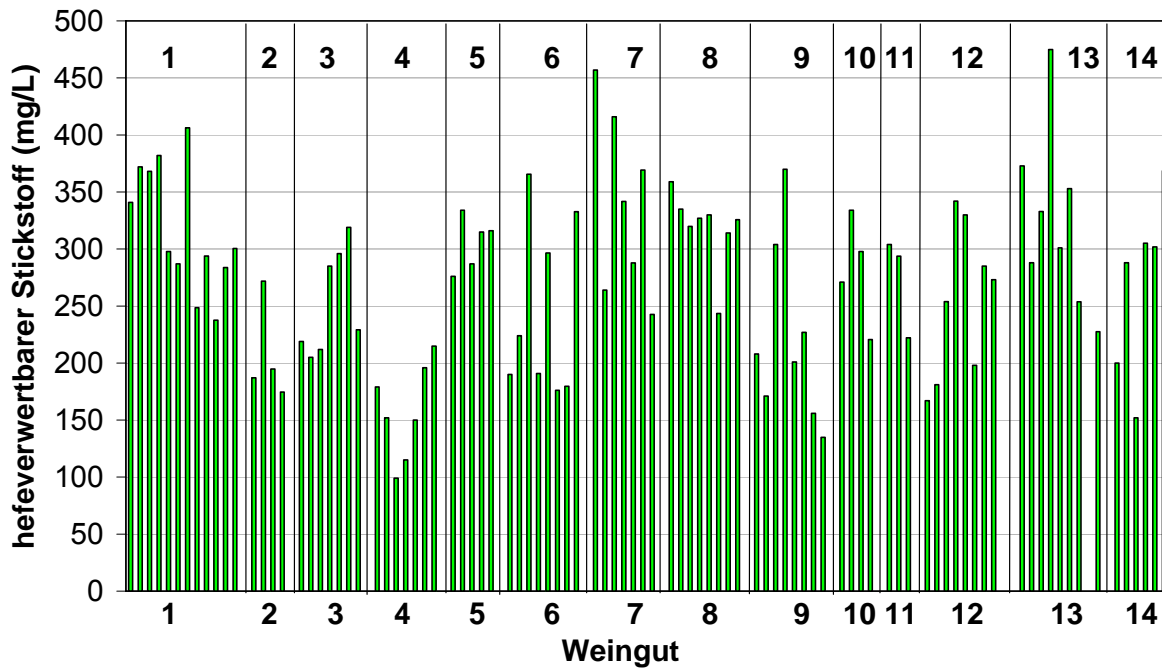


Abb. 28: Gehalt an hefeverwertbarem Stickstoff in gärfähigen Gebinden in 14 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1997 (n=83)

Der Gehalt an hefeverwertbarem Stickstoff variierte zwischen 100 und 475 mg/l. Insgesamt konnten nur 5 % aller Moste die für eine gute Vergärung geforderten 400 bis 500 mg/l hefeverwertbarem Stickstoff aufweisen.

4.7.2 Aminosäurespektrum der Moste und Weine

Auf der Basis der Bestimmung einzelner Aminosäuren mittels HPLC konnte eine genauere Abschätzung der Stickstoffversorgung der Moste und Weine vorgenommen werden. Dabei trat eine große Diskrepanz zwischen den mittels der Formoltitration ermittelten Summenparameter freier Aminosäurestickstoff einerseits und des aufsummierten Stickstoffbeitrages der einzelnen Aminosäuren andererseits auf (siehe Abb. 29).

Die auf Aminosäuren beruhende Stickstoffversorgung der 47 untersuchten Moste aus dem Jahrgang 1997, unter Ausschluss des nicht hefeverwertbaren Prolins, schwankte zwischen 127 und 1165 mg/l. Damit überschritten im Gegensatz zu der Bestimmung des freien Aminosäuren-Stickstoffs alle Moste, mit Ausnahme einer Probe, die Mindestmenge von 150 mg/l an freien Amino-Stickstoff (FAN) (Henick-Kling et al., 1996). Der Median, sprich die am häufigsten anzutreffende Stickstoffversorgung überstieg mit 510 mg/l FAN die in der Literatur geforderte 400 - 500 mg/l FAN, die zur Vermeidung von Gärstörungen und Fehltonen gefordert werden (Agenbach, 1978; Jiranek et al., 1990).

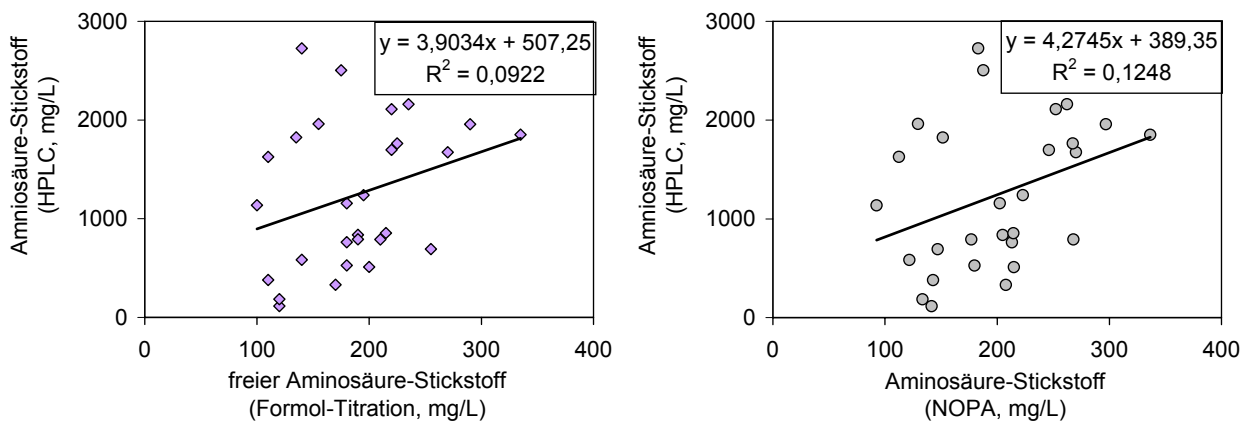


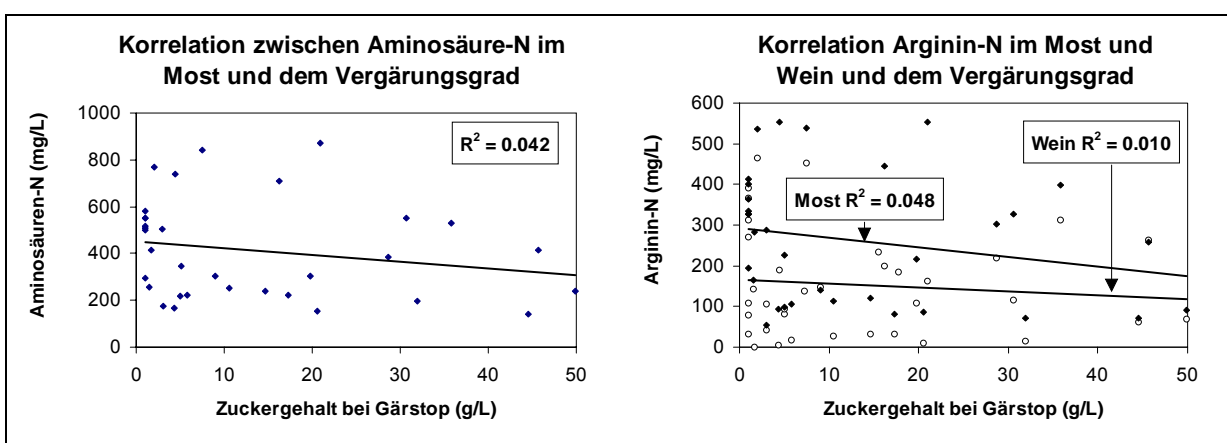
Abb. 29: Korrelation zwischen den aufsummierten Stickstoffbeitrag einzelner Aminosäuren, die mittels HPLC bestimmt wurden und dem Summenparameter für Aminosäurestickstoff basierend auf der Formol-Titration (linke Grafik) und der NOPA-Methode (rechte Grafik)

Diese Diskrepanz zwischen einem als Summenparameter bestimmten Wert und den auf der Summierung der mittels der HPLC bestimmten Einzelsubstanzen ist hinlänglich bekannt und z.B. sehr gut beschrieben von Ritter für den Vergleich der Gesamtphenolbestimmung nach Folin-Chiocalteau und der Summe aller HPLC-Peaks bezogen auf einen oder mehrere interne Standards (Ritter, 1995).

Nach der frühzeitig oder normal beendeten Gärungen der 47 untersuchten Moste schwankten die Gehalte an Aminosäure-Stickstoff (ohne Prolin) zwischen 19 und 907 mg/l. Der am häufigsten gefundene Wert (Median) von 284 mg/l Aminosäure-Stickstoff belegt, dass die Hefen in den meisten Mosten das Stickstoffangebot nicht vollkommen verbraucht hatten und nach abgeschlossener Gärung verblieben noch zwischen 19 % bis 64 % des im Most vorgefundenen Aminosäurestickstoffes im Wein. Diese summarischen Ergebnisse deuten bereits darauf hin, dass kein Stickstoffmangel während der Vergärung der 47 Gebinde auftraten.

Von den untersuchten 22 Aminosäuren wurden in wenigen einzelnen Gebinden die Aminosäuren Glutaminsäure, Asparaginsäure, Serin, Glutamin, Arginin, Glycin, Threonin, Isoleucin und Tryptophan komplett aufgebraucht was mit Modellgärungen übereinstimmt, wo vor allem Glutaminsäure, Asparagin, Serin, Glutamin, Arginin und Asparagin als die favorisierten Stickstoffquellen für das Hefewachstum genannt werden (Rapp und Versini, 1996).

Aufgrund der z.T. sehr hohen Restkonzentrationen der Aminosäuren im Wein nach der Vergärung ist es kaum verwunderlich, dass die in Abb. 29 dargestellten Korrelationen zwischen dem Endvergärungsgrad einerseits und den Behalten verschiedener Aminosäuren im Most und Wein keine aussagekräftigen Korrelationen anzeigen und damit als Erklärung für die aufgetretenen Gärstörungen ausscheiden..



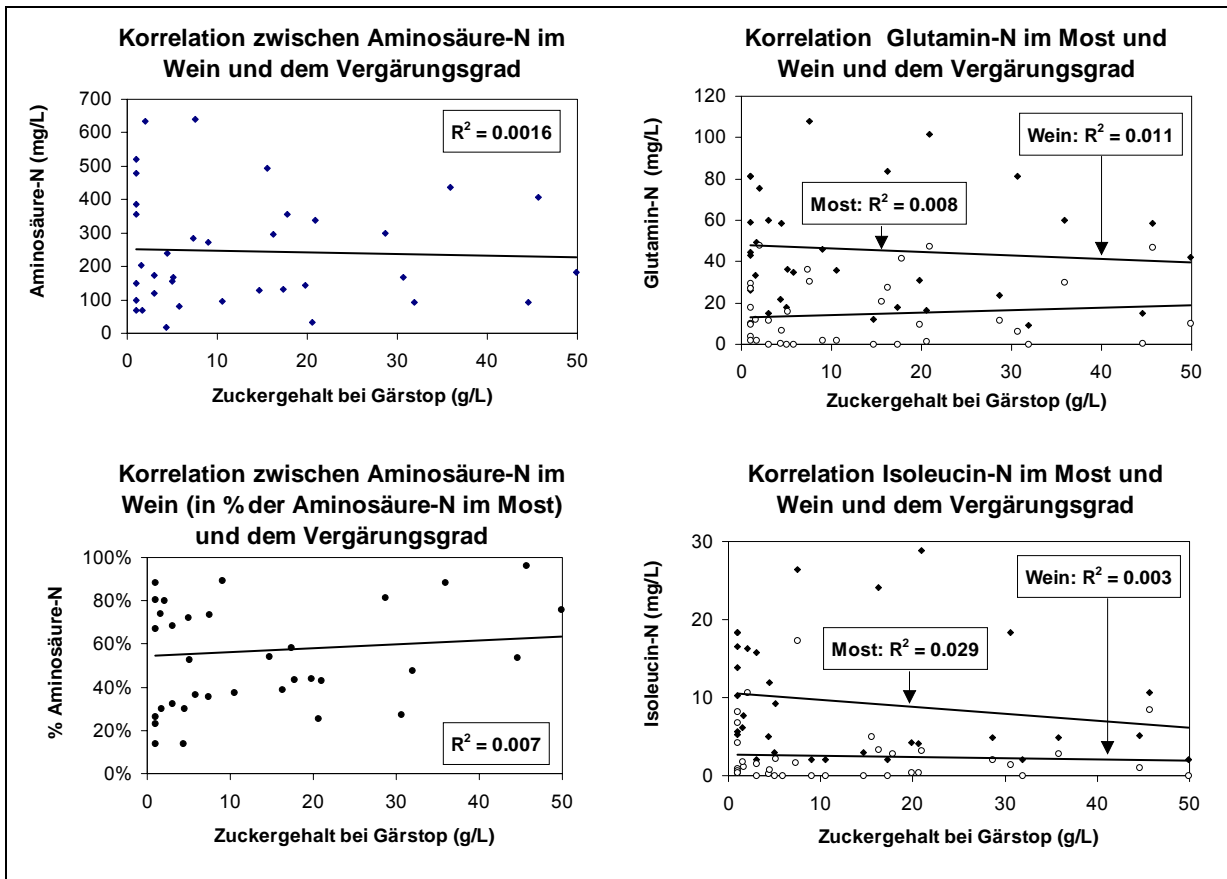


Abb. 30: Korrelation zwischen dem Endvergärungsgrad und dem Gehalt an Aminosäure-N in Most, Wein, dem Aminosäure-N Verbrauch während der Gärung sowie dem Gehalt der Aminosäuren Arginin, Glutamin und Isoleucin in Most und Wein (jeweils 1997er Weine, n=36)

Um dem Leser eine Unzahl von einzelnen Diagrammen zu ersparen, wurde in Abb. 30 das Ergebnis einer Hauptkomponentenanalyse dargestellt. Es ist das Ziel dieser multivariante statistischen Methode, die Beziehung zwischen den einzelnen Aminosäuren und dem Restzuckergehalt der jeweiligen Moste bzw. Weine zu verdeutlichen und sie fasst insgesamt 393 Einzelwerte zusammen. Dabei erklärt die erste, horizontal dargestellte Hauptkomponente bereits 58 % der gesamten Unterschiede. Die Mehrzahl der Pfeile deuten nach rechts, während der Vektor für den Restzuckergehalt nach links gerichtet ist. Aufgrund der gegenseitigen Ausrichtung liegt eine umgekehrte Korrelation vor, d.h. Gärstörungen (steigende Restzuckergehalte) sind verbunden mit niedrigen Aminosäure-Stickstoffgehalten der meisten dargestellten Aminosäuren. Eine Ausnahme bildet das Threonin. Somit deutet diese Hauptkomponentenanalyse darauf hin, dass trotz der individuell schwachen Korrelationen zwischen der Stickstoffversorgung der Moste durch einzelne Aminosäuren und dem Endvergärungsgrad in Abb. 29 insgesamt die Tendenz besteht, dass ein schlechter Endvergärungsgrad mit niedrigen Aminosäuregehalten im Most einhergeht.

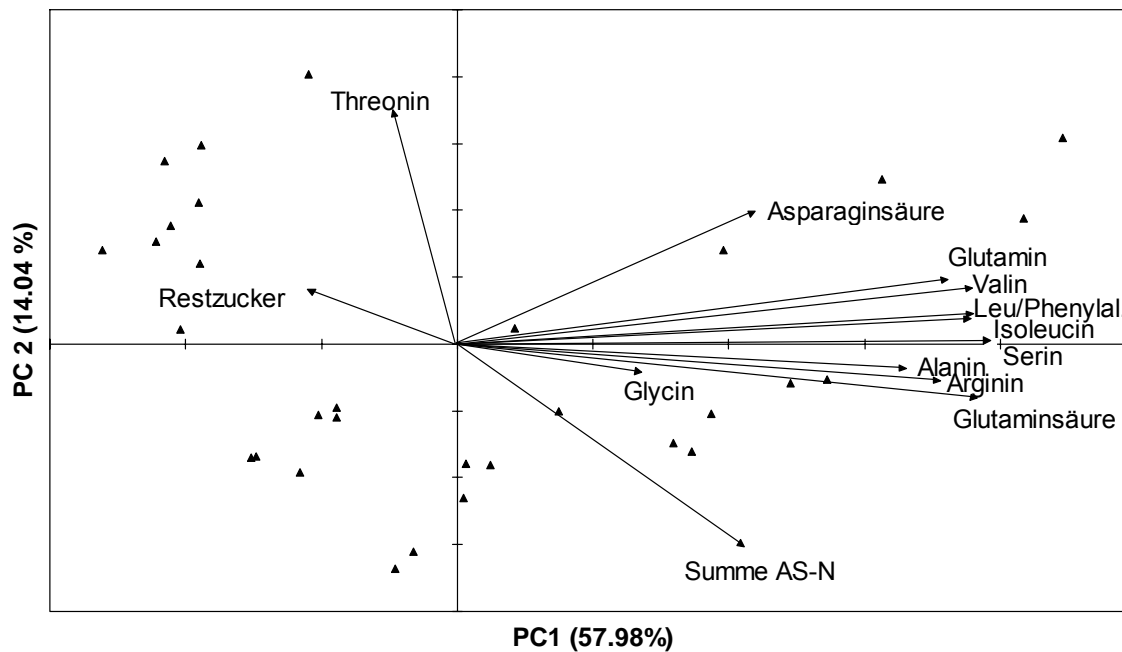


Abb. 31: Hauptkomponentenanalyse: Projektionen des Endvergärungsgrades und Aminosäure-N-Gehalte in 31 Mosten des Jahrgangs 1997 auf die 1. Hauptkomponente (PC 1; waagegerecht) und die zweite Hauptkomponente (PC 2; senkrecht). Darstellung der „loadings“ (Pfeile) und „scores“ (dreieckige Symbole) der einzelnen Moste.

Entscheidend ist aber die Frage, ob es während der Vergärung zu Engpässen in der Stickstoffversorgung kam und daher wird in Abb. 31 die gleichen Proben wie in Abb. 30 nur nach erfolgter Vergärung untersucht. Dabei ergab sich eine sehr ähnliche Struktur, nur dass der Restzucker Vektor nun im rechten Winkel zu den meisten Pfeilen der Aminosäuren steht. Ein 90 °-Winkel besagt aber, dass es keine Beziehung gibt zwischen den im Wein verbliebenen Aminosäuren und dem Endvergärungsgrad. Diese Feststellung deckt sich mit den geringen Bestimmtheitsmaßen in Abb. 29 sowie mit der Tatsache, dass in nur sehr wenigen Mosten nach der Vergärung die einzelnen Aminosäuren komplett verbraucht waren. Es kann somit abschließend bemerkt werden, dass keine der analysierten Aminosäuren einen für die Endvergärung limitierenden Faktor bei den untersuchten Mosten und Weinen darstellte.

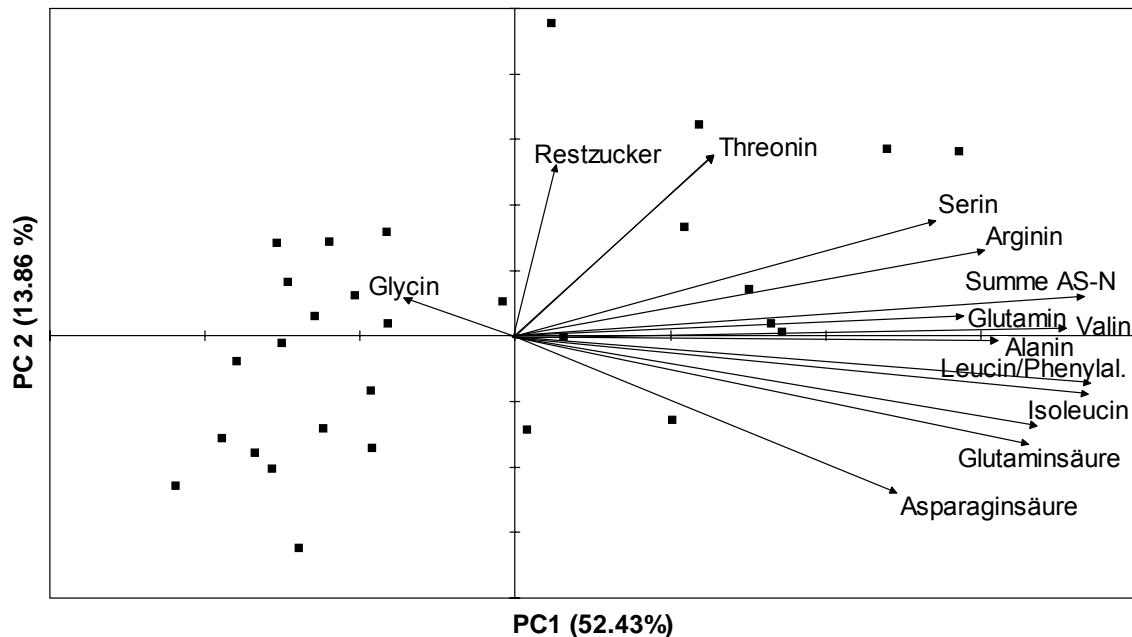


Abb. 32: Hauptkomponentenanalyse: Projektionen des Endvergärungsgrades und Aminosäure-N-Gehalte in 31 Weinen des Jahrgangs 1997 auf die 1. Hauptkomponente (PC 1; waagegerecht) und die zweite Hauptkomponente (PC 2; senkrecht). Darstellung der „loadings“ (Pfeile) und „scores“ (dreieckige Symbole) der einzelnen Weine.

Zusammenfassung des Kapitels „Natürliche Stickstoffversorgung“

- Die Versorgung der Moste mit freiem Aminosäure-Stickstoff war 1996 sehr einheitlich und übertraf deutlich die als Mindestmenge für ein komplette Vergärung geforderten 150 mg/l.
- Im Jahrgang 1997 schwankten die Moste erheblich und unterschritten in 42 % der Fälle das absolute Mindestmaß von 150 mg/l FAN. Ebenso hohe Schwankungen lagen im Ammoniumgehalt vor. Nur 5 % der Moste erreichte die zur sicheren und zügigen Vergärung angegebenen 400 bis 500 mg/l hefeverwertbaren Stickstoff (FAN plus Ammonium).
- Zwischen dem Summenparameter FAN einerseits und der Summe des Aminosäure-Stickstoffs der per HPLC gemessenen einzelnen Aminosäuren andererseits traten erhebliche Unterschiede auf.
- Nach der Gärung konnte in allen 47 untersuchten Weinen Aminosäure-Stickstoff nachgewiesen werden. Dieser schwankte zwischen 19 % und 64 % der im Most vorgefundenen Konzentrationen.
- Bei der Korrelation der Restzuckergehalt nach Beendigung der Gärung mit verschiedenen Aminosäurefraktionen konnte für keinen Kennwert eine aussagekräftige Beziehung ermittelt werden. Damit lieferte in den 47 untersuchten Mosten die Stickstoffversorgung keinen Beitrag zur Erklärung der aufgetretenen Gärstörungen.

4.8 Möglichkeiten der Kellerwirtschaftlichen Stickstoffhöhung

Aus ökologischen Gründen wäre es sicherlich besser, eine gezielte Verbesserung der Stickstoffversorgung der Hefen erst im Most vorzunehmen, anstatt den Umweg über eine erhöhte Stickstoffdüngung im Weinberg einzuschlagen, der mit allen Risiken der unzureichenden Verwertung bei Trockenheit und unerwünschter Eintrag in das Grundwasser bei zu hoher Wasserversorgung behaftet wäre.

4.8.1 Gärsalze

Die bevorzugte Stickstoffquelle der Hefen ist Ammonium, das sehr rasch aufgenommen werden kann und zum eigenen Aufbau von Aminosäuren durch die Hefe verwandt wird. Daher ist es weltweite kellerwirtschaftliche Praxis, unversorgte Moste mit Ammoniumsalzen der Phosphorsäure oder der Schwefelsäure anzureichern. Diammoniumhydrogenphosphat (DHAP) enthält pro Gramm Salz 0,258 g Stickstoff, so dass die in Deutschland gültige Obergrenze von 30 g/hl einer Erhöhung der Stickstoffmenge von 77,4 mg/l entspricht. Orientiert man sich an der in der Literatur geforderten 130 bis 150 mg/l hefeverfügbaren Stickstoff, kann mit dem Zusatz des sogenannten Gärsalzes DHAP bereits die Hälfte dieser Mindestmenge bestritten werden. In anderen weinbautreibenden Ländern sind höhere Zusätze erlaubt die bis zu 150 g/hl DHAP im Staat New York reichen. Bei der Festlegung dieser Höchstgrenzen orientierte man sich nicht an dem absoluten Minimum an hefeverfügbaren Stickstoff um eine Gärung in Gang zu bringen, sondern an dem Bedarf an 400 bis 500 mg/l hefeverwertbaren Stickstoff, der benötigt wird um die Gärung auch zum Ende zu führen und die ebenfalls bei Stickstoffmangel auftretende Bockserbildung (Schwefelwasserstoff) zu vermeiden (Rauhut et al., 1996b).

Eigenen Untersuchungen zu Folge konnte in einem mit 265 mg/l freiem Aminosäure-Stickstoff durchschnittlich versorgten Most durch die Gabe von Gärsalz in Form des Diammoniumhydrogenphosphats (DAHP) kaum Einfluss auf die Hefeentwicklung genommen werden (Abb. 33). Die Kontrolle erreichte zwar erst drei Tage später ihre maximale Zelldichte, doch konnte sie ein gleiches Niveau erreichen als die mit DAHP angereicherten Wein. Es konnte auch kein Unterschied zwischen dem Zusatz der gesetzmäßig erlaubten und der dreifach überhöhten Menge erkannt werden. Die späte Gabe konnte ebenfalls keinen Effekt erzielen.

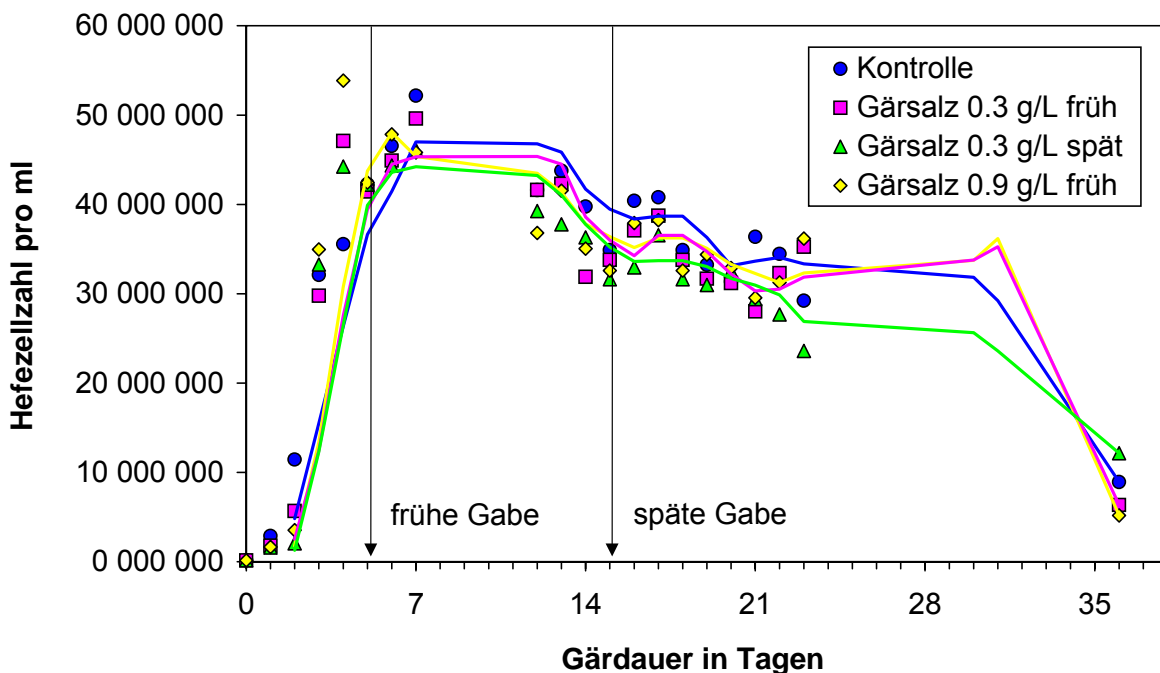


Abb. 33: Entwicklung der Hefezellzahl bei der Vergärung eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit von der Gabe von Gärsalz (DAHP) in verschiedenen Mengen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten (10 Liter, n=2)

Gleiches galt für die Gärintensität in Abb. 34, wo die zusätzliche mit Gärsalzen versorgten Varianten nach 5 Tagen eine geringfügig höhere Gärintensität auf wiesen. Alle Varianten vergoren auf weniger als 2 Gramm Restzucker und nur die Variante mit der späten Zugabe von Gärsalz zeigte einen leicht verzögerten Abbau des Restzuckers (Abb. 35).

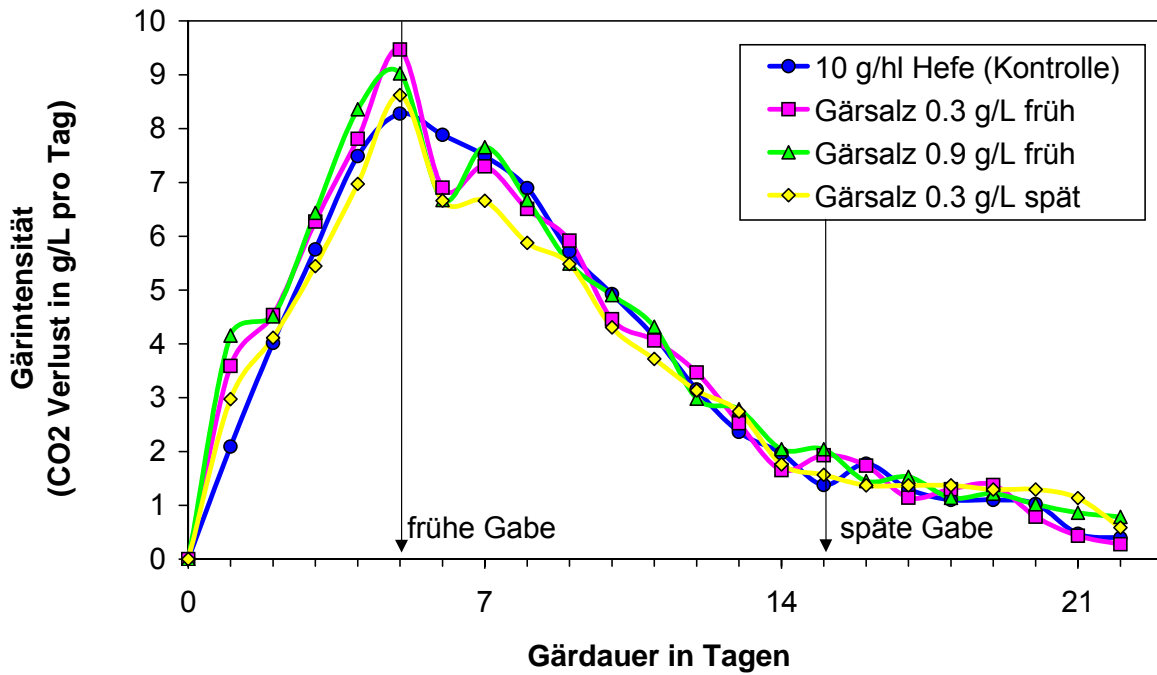


Abb. 34: Gärintensität eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit von der Gabe von Gärsalz (DHAP) in verschiedenen Mengen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten (10 Liter, n=2)

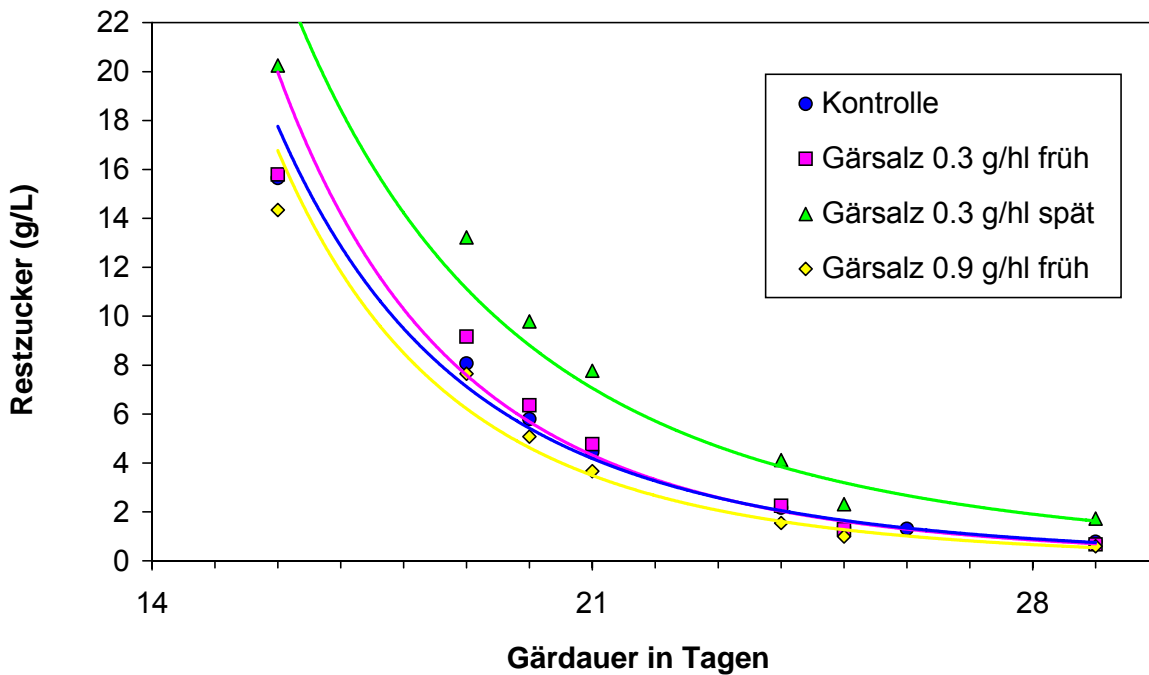


Abb. 35: Restzuckerabnahme zum Gärende eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit von der Gabe von Gärsalz (DHAP) in verschiedenen Mengen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten (10 Liter, n=2)

4.8.2 Heferindenpräparate

Heferindenpräparate enthalten ausschließlich die Zellwände von toten Hefen und entstammen aus der Produktion von Hefeextrakten, die als Geschmacksverstärker in der Lebensmittelindustrie Einsatz finden. Da ihre Reinigung nicht immer vollkommen ist, haftet ihnen manchmal eine intensive hefige Note

an, die sich aber im Wein verliert. Heferindenpräparate dienen zum einen der Erhöhung der inneren Oberfläche und zum anderen sollen sie fettlösliche mittelkettige Fettsäuren wie die Hexan-, Octan- und Decansäure abbinden die auf die Hefe toxisch wirken. Dies konnte Ingledew jedoch widerlegen (Ingledew, 1996), indem er die Heferinden in eine Dialysemembran einschloss, die jedoch für die toxischen Fettsäuren gut passierbar waren. Obwohl etwa die Hälfte der toxischen Fettsäuren durch über die eingeschlossene Heferinden entfernt wurden, konnte die Gärung nicht beschleunigt werden. Dies gelang nur mit den freien Heferinden. Mikroskopische Untersuchungen belegten einen sehr innigen Kontakt zwischen Hefezellen und Heferinden und es konnte gezeigt werden, dass die Hefe die Heferinden als Versorgungsreservoir für ungesättigte Fettsäuren benutzten und so ihre Alkoholtoleranz deutlich erhöhen konnten und folglich eine raschere und komplettere Vergärung realisieren konnten.

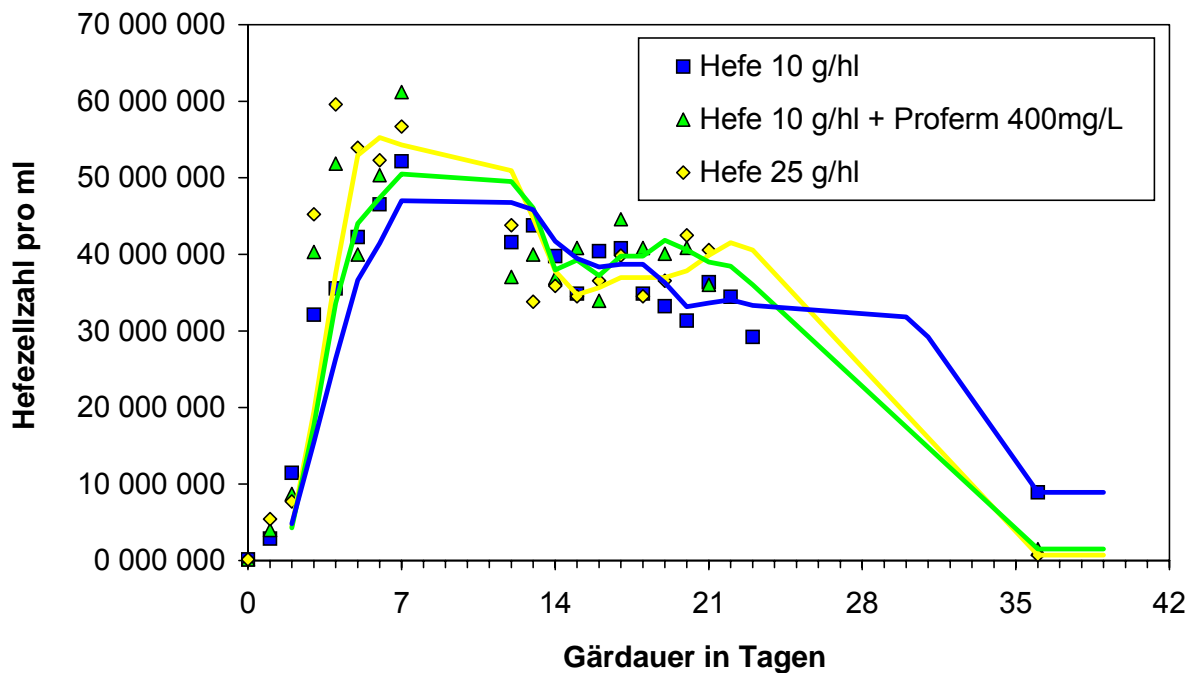


Abb. 36: Entwicklung der Hefezellzahl bei der Vergärung eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit von der Hefeeinsaatmenge und dem Einsatz eines Heferindenpräparates (10 Liter, n=2)

Auch in den 1996 angestellten Gärversuchen in 10-Liter-Ballons konnte wie aus Abb. 36 ersichtlich ist durch den Einsatz eines Heferindenpräparates die Hefevermehrung angeregt werden. So konnten rund 10 Mio. Zellen mehr pro ml gegenüber der unbehandelten Kontrolle gebildet werden.

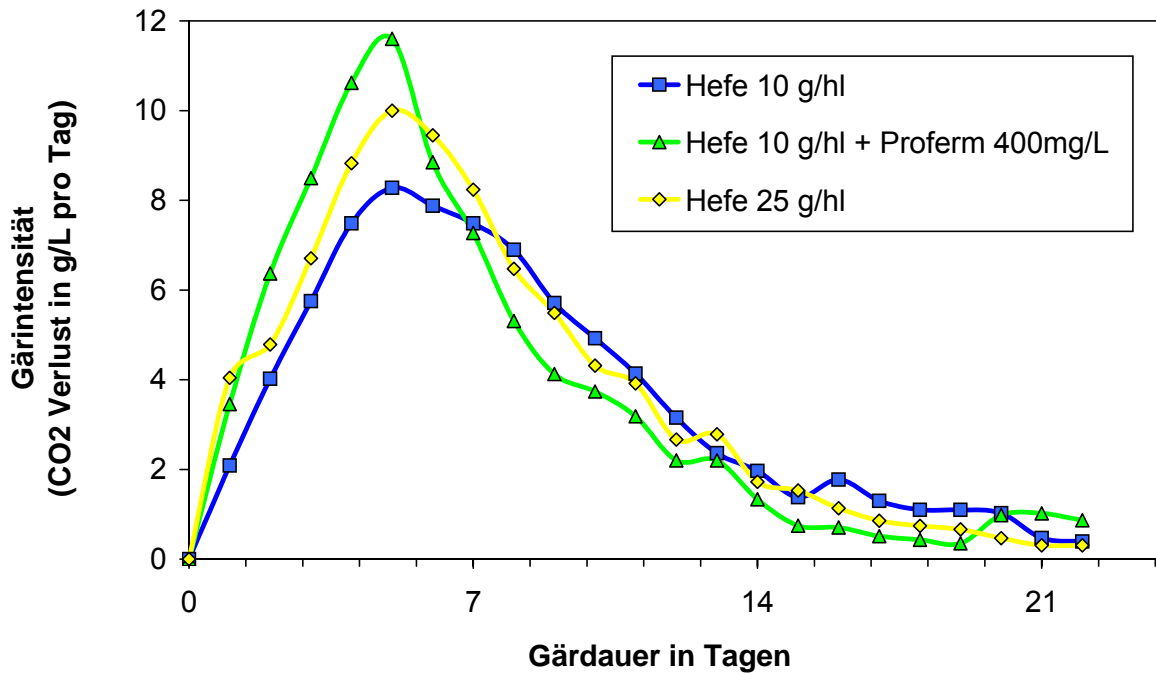


Abb. 37: Gärintensität eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit von der Hefeinsaatmenge und dem Einsatz eines Heferindenpräparates (10 Liter, n=2)

Dies wirkte sich auch positiv auf den Gärverlauf in Abb. 37 aus, da der Einsatz des Heferindenpräparates eine stärkere Belegung der Gärung zur Folge hatte, als die 2,5-fache Einsaat der Reinzuchtheefe. Die Tatsache, dass diese Variante die Gärung am raschesten abschloss, unterstützt die These von Ingledew, die Hefe gerade am Ende der Gärung aus den Heferinden wichtige Überlebensfaktoren zur Erhöhung der Alkoholtoleranz beziehen kann.

Da nicht alle Ergebnisse aus der Mikrovinifikation auf die realen Bedingungen in Praxisbetrieben übertragbar sind, wurde im Rahmen der Landesgärversuche des Arbeitskreises Oenologie im Land Rheinland-Pfalz 1998 im 600 Liter Maßstab der Einfluss von Heferindenpräparaten bei sehr starker Vorklärung untersucht. Hierzu wurde ein Haardter Herrenletten Riesling Spätlese verwendet, der am mit 94°Oe und einer Mostsäure von 8,7 g/l geerntet wurde.

- Variante 1: 18 Stunden absetzen lassen, kein Bentonitzusatz (wie 1995 und 1996)
- Variante 2: Zusatz von 200 g/hl Ca-Bentonit-Zusatz, 18 Stunden absetzen lassen, Entfernung des Bentonittrubes vor der Vergärung (wie 1995 und 1996)
- Variante 3: 18 Stunden absetzen lassen, Zusatz von 200 g/hl Ca-Bentonit-Zusatz, der mitvergoren wurde (wie 1995 und 1996)
- Variante 4: Zusatz von 200 g/hl Ca-Bentonit-Zusatz und 10 ml/hl Gelatine, 18 Stunden absetzen lassen, Entfernung des Schönungsstrubes vor der Vergärung
- Variante 5: Filtration des mit 2 g/l Ca-Bentonit geschönten Mostes über den Kieselgurfilter, so dass mit weniger als 0,1 Gew.% Trub vergoren wurde.
- Variante 6: Filtration des mit 2 g/l Ca-Bentonit geschönten Mostes über den Kieselgurfilter Zugabe von 0,4 g/l des Kombinationspräparates Fermaid (Lallemand, Inc.)
- Variante 7: Filtration des mit 2 g/l Ca-Bentonit geschönten Mostes über den Kieselgurfilter Zugabe von 0,4 g/l Kombinationspräparates Proform (Begerow)

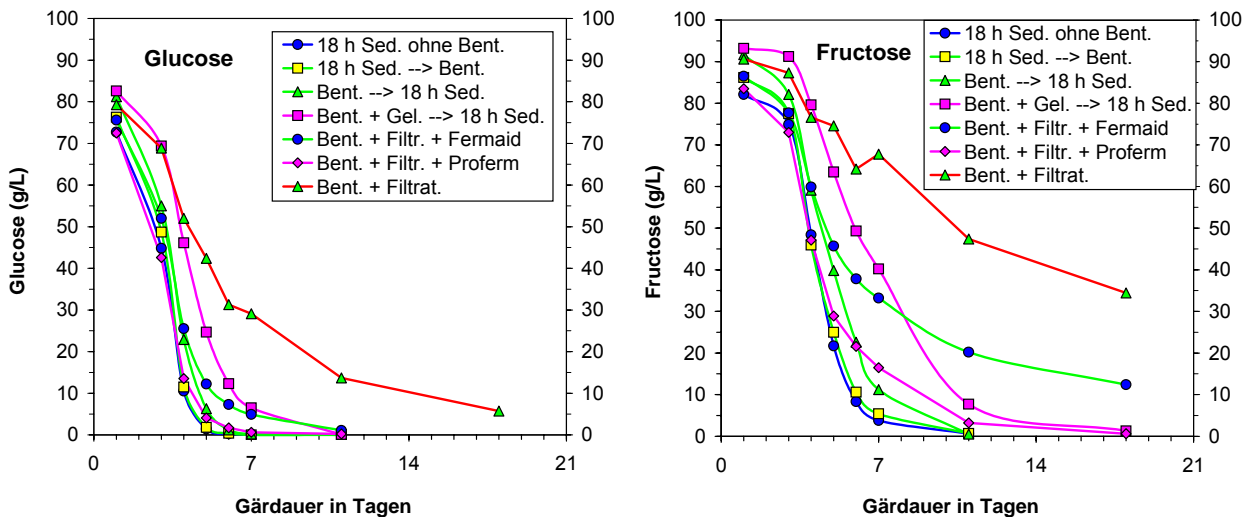


Abb. 38: Zeitlicher Verlauf der Glucose- (linke Grafik) und Fructoseabnahme (rechte Grafik) in Abhängigkeit von der Mostvorklärung und Zusatz von Heferindenpräparaten in 600-Liter-Gebinden

Während in Abb. 38 ähnlich wie in den Jahren 1995 und 1996 (siehe Abb. 19 und Abb. 20) durch eine Bentonitschönung keine Gärschwierigkeiten induziert werden konnten, traten durch die starke Filtration der Mostes eine erhebliche Gärstockung auf, so dass am Gärende 34,4 g/l Fructose und 5,7 g/l Glucose unvergoren blieben (Tab. 2).

Tab. 3: Veränderung der weinanalytischen Daten durch unterschiedliche Mostschönung und Einsatz von Heferindenpräparaten

Mostbehandlung Variante	Glucose g/l	Fructose g/l	vorhandener Alkohol g/l	Gesamt Alkohol g/l	Glycerin g/l
18 h Sedimentation, ohne Bentonit	0,1	0,6	99,3	99,6	6,0
18 h Sedimentation, mit Bentonit	0,0	0,7	99,9	100,2	5,8
18 h Sedimentation, mit Bentonit vergoren	0,0	0,5	98,5	98,7	5,5
18 h Sedimentation, mit Bentonit und Gelatine	0,1	1,3	104,0	104,6	5,4
Klärung mit Kieselgurfilter	5,7	34,4	82,5	101,3	4,8
Klärung mit Kieselgurfilter plus Fermaid	1,1	12,4	94,9	101,3	6,8
Klärung mit Kieselgurfilter plus Proferm	0,2	0,6	100,4	100,8	7,7

Die in der kellerwirtschaftlichen Praxis übliche Kombination von Bentonit- und Gelatineschönung im Most zeigte einen ähnlichen Endvergärungsgrad wie die anderen Bentonitschönungsvarianten, erzielte aber einen um bis zu 5,5 g/l höheren Gesamtalkohol. Eine Ursache für diese hohe Alkoholausbeute könnte in der verzögerten Gärung liegen, da sowohl für den Zuckerabbau in Abb. 38 als auch die Ethanolbildung in Abb. 39 die Bentonit/Gelatine-Variante eine langsame Angärung und Gärverlauf zeigte, der nur durch die stark vorgeklärte Variante übertroffen wurde.

Zur Vermeidung potentieller Gärstörungen wurden zwei Heferindenpräparate dem stark vorgeklärten Most zugesetzt, wobei nur das Handelsprodukt Proferm (Begerow) ein sicheres Durchgären gewährleistete, während Fermaid (Lallemand) lediglich eine Reduzierung der Restzuckerwerte um 80 % bei Glucose und 65 % bei Fructose bewirkte. Beide Präparate enthalten neben Heferinden die beiden Ammoniumsalze Diammoniumhydrogenphosphat und Ammoniumsulfat sowie Thiamin (Vitamin B₁). Mit der Zugabe der Höchstmenge von 400 mg/l erhöhte sich bei beiden Präparaten gemäß der Formoltitration der Stickstoffgehalt um etwa 72 mg/l. Damit entspricht die Erhöhung der Stickstoffkonzentration durch die Heferindenpräparate in etwa dem, was durch den Zusatz der Höchstmenge von 300 mg/l der Gär-salze Diammoniumphosphat oder Ammoniumsulfat (jeweils 63,6 mg/l) erreicht werden kann. Offensichtlich enthielt Proferm noch weitere Mikronährstoffe oder eine höheres Reservoir an Überlebensfaktoren als das Fermaid, so dass eine komplette Vergärung erreicht werden konnte.

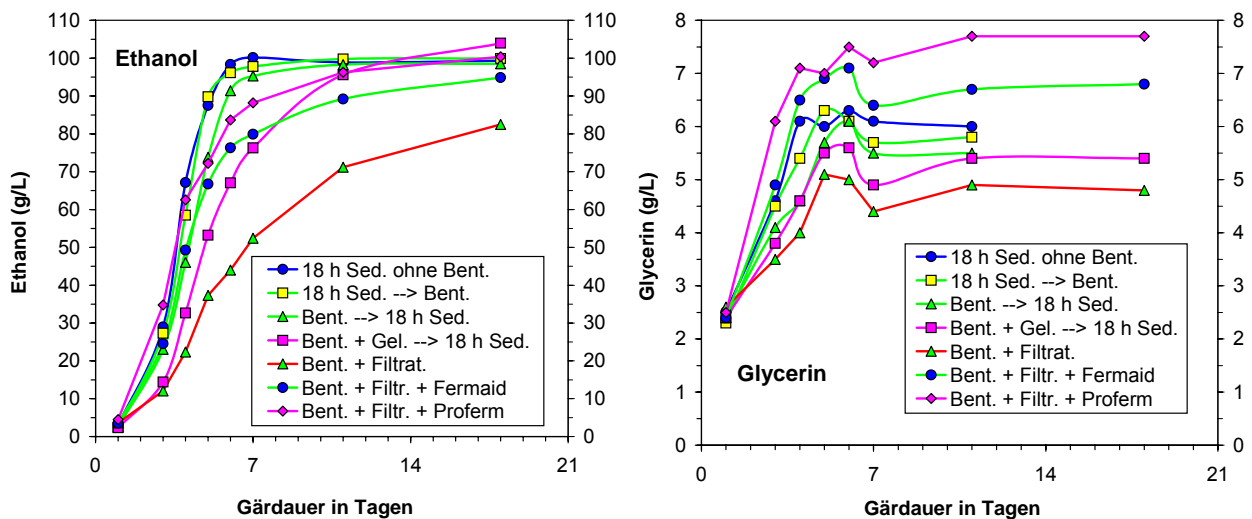


Abb. 39: Zeitliche Bildung von Ethanol (linke Grafik) und Glycerin (rechte Grafik) in Abhängigkeit von der Mostvorklärung und Zusatz von Heferindenpräparaten in 600-Liter-Gebinden

Über den Endvergärungsgrad hinaus hatte die Zugabe von Heferindenpräparaten einen starken Einfluss auf die Glycerinbildung (Abb. 39). Während die Variante mit Einsatz von Fermaid bereits gegenüber der ungeschönten Kontrolle 0,8 g/l mehr Glycerin bildete, lag die mit Proferm behandelte Variante sogar mit 1,7 g/l über der Kontrolle. Es ist äußerst bemerkenswert, dass allein durch die Zugabe der Heferindenpräparate in den stark vorgeklärten Most je nach eingesetzten Präparat 2,0 und 2,7 g/l mehr Glycerin gebildet wurde, ohne den Gesamtalkohol maßgeblich zu verändern. Diese Ergebnisse übertreffen noch die Feststellung von G. Trioli, der für den Einsatz von 500 mg/l Fermaid in einem italienischen Weißweinmost eine durchschnittliche Steigerung von 1 g/l Glycerin berichtet (Trioli, 1996). Während einige Heferasse überhaupt nicht auf die Gabe von Fermaid reagierten, konnten andere Steigerungen bis zu 1,8 g/l verzeichnen. Die Stimulierung der Glycerinbildung durch den Einsatz von Heferinden bei konstantem Gesamtalkoholgehalt unterstützen die These von Ingledew, dass der Bezug von Überlebensfaktoren aus den Heferinden den Hefen eine bessere Alkoholtoleranz verleiht und die Hefe somit weniger Energie für die Aufrechterhaltung ihres zellinternen pH-Werts aufbringen muss und daher eine höhere Produktivität entwickeln kann.

Zusammenfassung des Kapitels „Möglichkeiten der kellerwirtschaftlichen Stickstoff- erhöhung“

- Der Einsatz von Gär-salz zu verschiedenen Zeitpunkten und in unterschiedlichen Mengen verblieb ohne nennenswerten Einfluss, da der Most ausreichend mit Stickstoff versorgt war.

- Aus der Literatur kann entnommen werden, dass der optimale Zeitpunkt der Ammoniumgabe das Ende der exponentiellen Phase ist. Zur verbesserten Nutzung des Stickstoffs empfiehlt sich eine gleichzeitige Zuführung von Sauerstoff.
- Eine späte Ammoniumgabe zum Zeitpunkt der Weitung des Glucose-Fructose-Verhältnisses ist nicht ratsam, da die Hefe nicht mehr imstande ist Ammonium aufzunehmen. Um positiv geladenes Ammonium aufnehmen zu können, müsste zum Ladungsausgleich H^+ -Ionen aus der Hefezelle geschleust werden. Dafür sind aber keine freien Kapazitäten der Protonenpumpe vorhanden, da der erhöhte Alkoholgehalt bereits den Eintritt von H^+ -Ionen derart verstärkt hat, dass die Protonenpumpe voll ausgelastet ist.
- Heferindenpräparate führten gerade bei stark vorgeklärten Mosten zu einer deutlichen Verbesserung der Endvergärung. Dabei konnten die maximal zulässige Menge an Heferindenpräparaten von 40 g/hl ähnliche Ergebnisse erzielen wie eine um 2,5 gesteigerte Hefeinsaat.
- In 600-Liter-Gebinden führte der Einsatz von Heferinden zu einer Erhöhung des Glycerins von bis zu 2,7 g/l.
- Die positive Wirkung der Heferindenpräparate ist auf die Verbesserung der Stickstoffversorgung und auf die zusätzliche Bereitstellung von Überlebensfaktoren für die Hefe zurückzuführen.

4.9 Sauerstoffversorgung

Dem Sauerstoff kommen während der alkoholischen Gärung zwei Aufgaben zu. Während der aeroben Wachstumsphase der Hefe ermöglicht Sauerstoff die Veratmung der Zucker, so dass die Hefe genügend Energieäquivalenten bilden kann, um über 5 bis 7 Zellteilungszyklen eine ausreichende Zellmasse aufzubauen, die eine komplette Gärung ohne Störungen sicherstellt. Diese Energie wird nicht nur in die quantitative Bildung neuer Zellen investiert, sondern auch in die qualitative Ausstattung der Hefezellen mit einem möglichst großen Depot an ungesättigten Fettsäuren und Ergosterol, die später die Alkoholtoleranz der Hefe sicherstellen. Der optimale Zeitpunkt der Sauerstoffgabe ist am Ende der Wachstumsphase der Hefe, da der eingeblasene Sauerstoff auf eine hohe Zelldichte trifft und die am Ende der aeroben Phase befindliche Hefe den Sauerstoff sofort umsetzen kann (Sablayrolles, 1996).

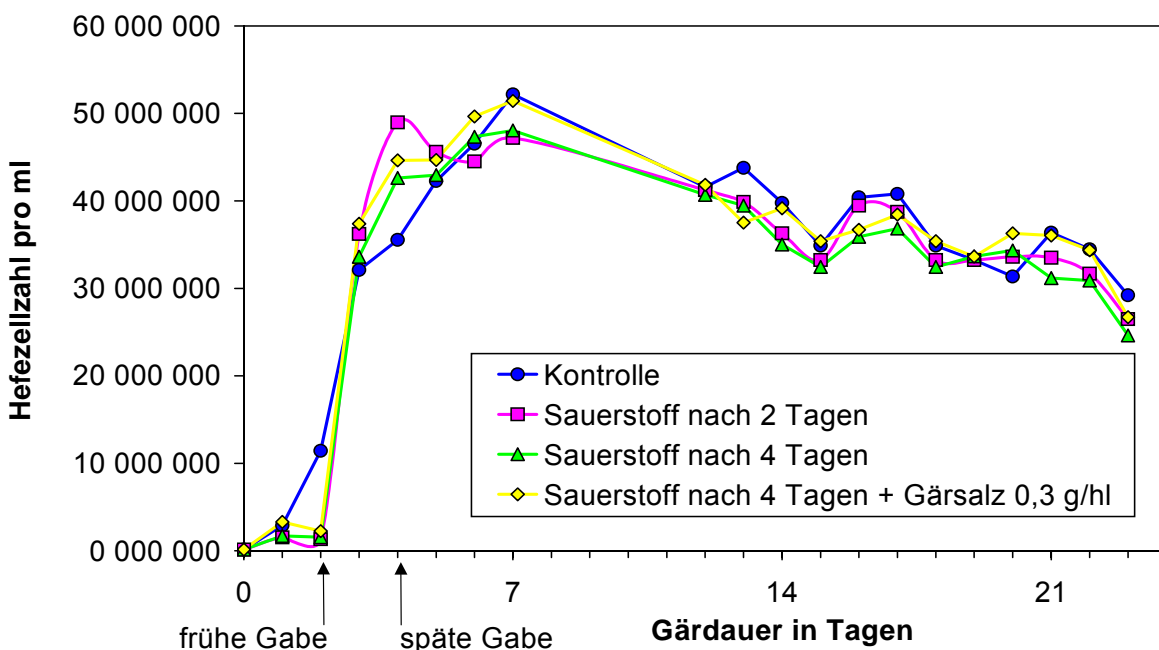


Abb. 40: Entwicklung der Hefezellzahl bei der Vergärung eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit von der Zuführung von Sauerstoff und Stickstoff während der Hefewachstumsphase (10 Liter, n=2)

Die empfohlenen Mengen schwanken zwischen 5 und 10 mg/l Sauerstoff was beim Einsatz eines Kompressors 35 Liter Luft pro 1000 Liter entspricht. Bei Verwendung von reinem Sauerstoff reduziert sich die Menge auf 7 Liter pro 1000 Liter. Das Gas wird langsam über eine Edelstahlritze in den gärenden Wein eingeleitet. Meist reicht eine 15 minütige Begasung aus, um den notwendigen Sauerstoff in dem Gärgut zu lösen (Schneider, 1999).

In den Gärversuchen war die positive Wirkung des Sauerstoffs nur schwach ausgeprägt. In Abb. 40 erreicht die nach zwei Tagen mit Sauerstoff begaste Variante nach vier Tagen die höchste Zellzahl, während die beiden nach vier Tagen begasten Varianten erst später ihr Maximum erreichen.

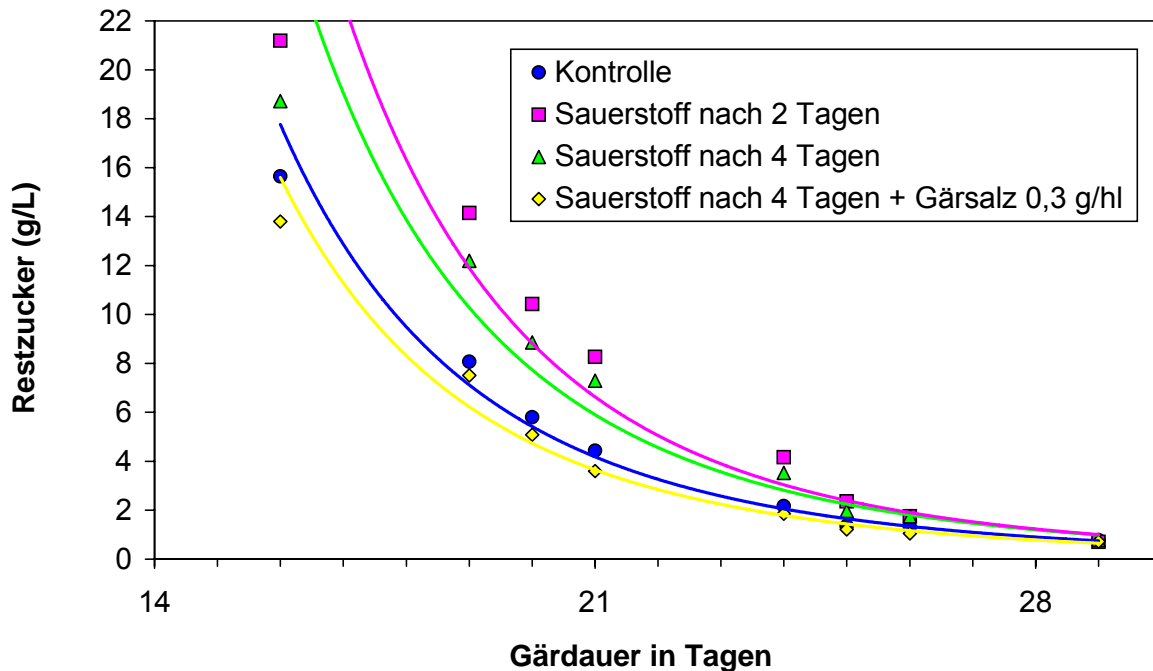


Abb. 41: Restzuckerabnahme am Ende der bei 15 °C durchgeführten Vergärung eines 1996er Rieslingsmostes in Abhängigkeit von der Sauerstoffeinleitung zu unterschiedlichen Zeitpunkten (10 Liter, n=2)

Offensichtlich war aber der Most nicht unterversorgt mit Stickstoff und zeigte somit weder auf die Sauerstoffbegasung noch auf die zusätzliche Stickstoffgabe nach vier Tagen eine deutliche Reaktion. Diese Tatsache ist auch der Abb. 41 zu entnehmen, wo alle Varianten nach 29 Tagen einen Restzuckerwert von 1 g/l erreichen. Lediglich die Variante mit einer kombinierten Sauerstoffbegasung und Stickstoffgabe nach vier Tagen zeigte eine etwas raschere Endvergärung als die unbehandelte Kontrolle.

Zusammenfassung des Kapitels „Sauerstoffversorgung“

- Experimentell konnte die gärfördernde Wirkung einer Sauerstoffgabe am Ende der Wachstumsphase nicht bestätigt werden, da der Most wahrscheinlich ausreichend mit Nährstoffen versorgt war.
- Der Literatur ist zu entnehmen, dass eine Sauerstoffgabe die Bildung von Überlebensfaktoren durch die Hefe fördert und damit in problematischen Mosten den Endvergärungsgrad.
- Der beste Zeitpunkt zur Belüftung des Mostes ist das Ende der Wachstumsphase, da hier eine sehr hohe Zelldichte den sofortigen Umsatz des Sauerstoffs gewährleistet.

4.10 Einfluß der Gärtemperatur

Zur Abklärung des Einflusses der Bentonitschönung auf die Gärung wurde im Jahr 1997 die Kontrolle ohne Bentonitschönung und das vor der Gärung abgetrennte Bentonit erneut untersucht, diesmal jedoch unter Variation der Gärtemperatur bei 20 und 15 °C. Die Gärkurven in Abb. 35 basieren auf der Vergärung in 50-Liter-Ballons, da in den parallel vergorenen 600-Liter-Tanks die Temperaturvorgaben von 15 und 20 °C nicht eingehalten werden konnten.

Tab. 4: Stickstoffversorgung des Mostes zur Untersuchung der gärhemmenden Wirkung einer Bentonitschönung bei Gärtemperaturen von 15 und 20 °C

	NH ₄ mg/l	Ferm N Wert	freier Aminosäure-Stickstoff
	mg/l		mg/l
ohne Bentonit → 18 h Sedimentation	203	38	205
Bentonit → 18 h Sedimentation	194	37	185

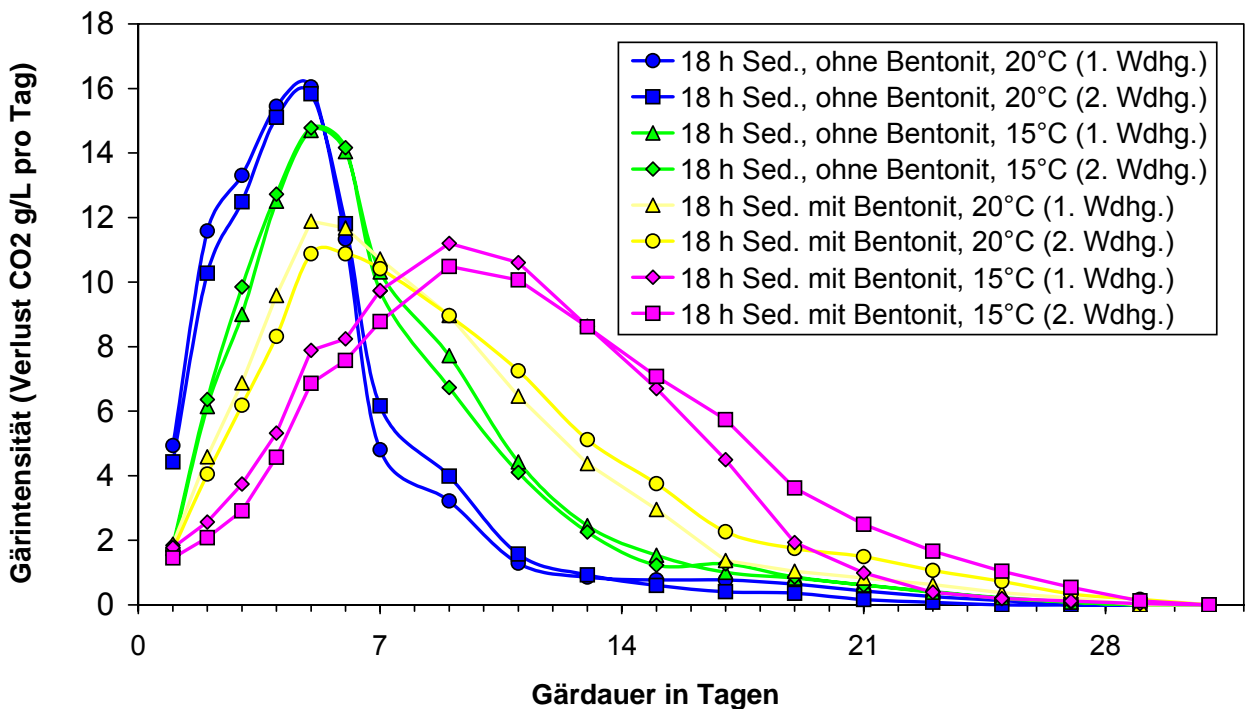


Abb. 42: Gärintensität eines 1997er Rieslingmostes in 50-Liter-Glasbehälter in Abhängigkeit von der Mostbentonitschönung und der Gärtemperatur

Den sichtlich größeren Einfluss auf die Gärintensität wurde durch die Absenkung der Temperatur von 20 °C auf 15 °C bewirkt, als durch die Anwendung der Bentonitschönung im Most. Trotzdem konnte erneut die Bentonitschönung eine leichte Abflachung der Gärkurve, insbesondere bei der kühleren Gärtemperatur bewerkstelligen. Die Absenkung der Gärtemperatur flachte die Gärkurve insgesamt deutlich ab, so dass zum Zeitpunkt der maximalen CO₂-Entwicklung rund nur 2/3 der Menge pro Tag entweicht, als bei 20 °C. In Kombination zwischen Bentonitschönung und 15 °C Gärtemperatur verschob sich das Gärmaximum um vier Tage und der Großteil der Gärung wurde in der 2. Woche nach dem Gärbeginn durchgeführt. Da die Hefe keinen Temperaturschwankungen ausgesetzt war, konnte sie in allen Varianten einen Endvergärungsgrad von weniger als 4 g/l erreichen.

Die Gefahr von plötzlichen Temperaturschwankung sowohl nach unten als auch nach oben werden in Tab. 5 verdeutlicht: Obwohl der Temperaturschock von 7 °C relativ früh in der stationären Phase bei der Vergärung von erst 40 g/l Zucker erfolgte, zeitigte er sowohl bei der Anhebung der Temperatur eine unvollständige Gärung, als auch bei der Absenkung der Temperatur.

Tab. 5: Auswirkung von positiven und negativen Temperaturschocks während der Gärung eines Mostes

	Gärdauer Tage	Restzuckergehalt g/l
Vergärung bei konstant 12 °C	93	< 2
Vergärung bei 12 °C, plötzliche Anhebung der Temperatur nach der Vergärung von 40 g/l Restzucker auf 19 °C	56	27
Vergärung bei konstant 19 °C	50	< 2
Vergärung bei 19 °C, Absenkung der Temperatur nach der Vergärung von 40 g/l Restzucker auf 12 °C	21	108

(Ribéreau-Gayon et al. 1998)

Die Gefahr niedriger Starttemperaturen zu Beginn der Gärung, die aus der Kühlung des Mostes zur Realisierung einer ausreichenden Vorklämung resultiert, wird von vielen Praktikern unterschätzt. Gerade bei niedrigen Temperaturen weisen die Apiculatus Hefestämme deutlich höhere Vermehrungsraten als *Saccharomyces cerevisiae* Stämme auf. Dies führt zwangsläufig zu höheren Bildungsraten von Essigsäure sowie einer Verschwendung von Nährstoffen zum Aufbau unerwünschter Populationen an Apiculatushefen. Daher setzen Oenologen in heißen Klimaten mit entsprechend starker Mostkühlung meist 30 bis 40 g/hl Reinzuchthefer ein, um der *Saccharomyces cerevisiae* einen besseren Start zu ermöglichen.

Zusammenfassung des Kapitels „Einfluß der Gärtemperatur“

- Die Absenkung der Gärtemperatur von 20 auf 15 °C streckte deutlich die Gärkurve, ohne jedoch den hohen Endvergärungsgrad zu beeinflussen.
- Niedrige Starttemperaturen aufgrund von Mostkühlung fördert die Bildung von Apiculatushefen, die zu erhöhten Essigsäuregehalten führen. Daher sollten bei niedrigen Starttemperaturen mit einer höheren Hefeinsaatmenge gearbeitet werden.
- Während der Gärung sind größere Temperaturschwankungen unbedingt zu vermeiden, insbesondere wenn gegen Ende der Gärung die Hefe bereits stark gestresst ist.

4.11 Glucose-Fructose-Verhältnis

Es ist eine unter Fachleuten strittige Frage, ob ein niedriges Glucose-Fructose-Verhältnis Ursache oder nur eine Begleiterscheinung von Gärstörungen ist. Die Zuckeraufnahme wird gegen Ende der Gärung wesentlich durch den schädlichen Effekt des steigenden Alkohols auf die Hefemembran gebremst, da die Hefe vornehmlich mit der Stabilisierung ihres zellinternen pH-Wertes beschäftigt ist. Zu diesem Zeitpunkt steigt gleichzeitig aufgrund der präferierten Glucoseaufnahme durch die Hefe der Fructoseanteil des Restzuckers an und das Glucose-Fructose-Verhältnis sinkt. So weisen die meisten steckengebliebenen Gärungen eine Glucose-Fructose-Verhältnis von 0,1 und darunter auf (Gafner and Schütz, 1996). Andererseits hat Jürg Gaffner aus Wädenswil mit seinen Mitarbeitern eindeutig belegen können,

dass eine Zugabe von Glucose zu einer stockenden oder steckengebliebenen Gärung diese wieder beleben kann und zum Ende bringen kann (Gafner and Schütz, 1996).

Die typische Sektheefe *Saccharomyces cerevisiae bayanus*, die aufgrund ihrer besseren Kälte- und Alkoholtoleranz gerne zum Durchgären von steckengebliebenen Weinen Anwendung findet, zeigt eine weitaus schlechtere Fructoseaufnahme als die *Saccharomyces cerevisiae* Stämme. Ursache dafür ist die geringere Produktion des wichtigen Enzyms Hexokinase1, das den Abbau der Zucker gewährleistet. Daher sollten Bayanusstämme nur dann Anwendung finden, wenn die Gärstörungen bei einem hohen Restzuckergehalt eintreten, bei dem das Glucose-Fructose-Verhältnis noch bei 1:2 liegt. Unterhalb von 30 g/l Restzucker sollte besser eine frische *Saccharomyces cerevisiae* Kultur in einer 10 prozentigen Teilmenge angelegt werden (25 bis 50 g/hl), die gut mit Luft und Stickstoff versorgt wurde.

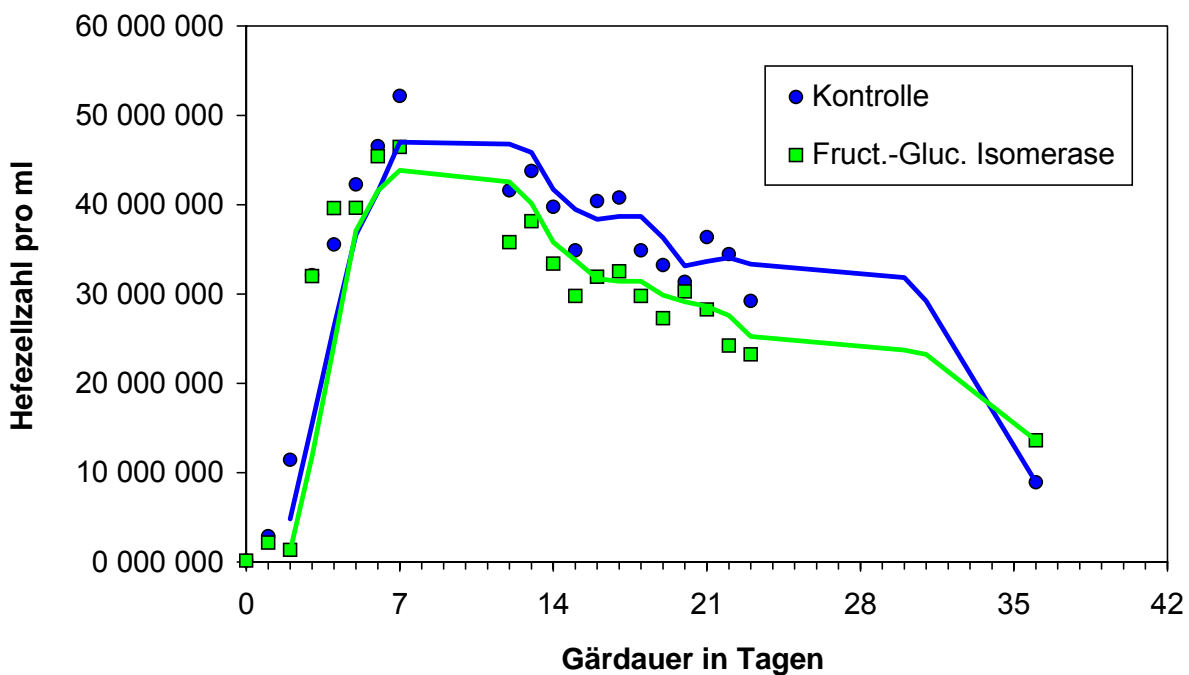


Abb. 43: Entwicklung der Hefezellzahl bei der Vergärung eines 1996er Rieslingmostes bei 15 °C in Abhängigkeit Einsatzes einer Fructose-Glucose-Isomerase (10 Liter, n=2)

Einen anderen Ansatz wurde in der Mikrovinifikation in 10-Liter-Behältnissen gewählt. Hier wurde nach Eintritt in die stationäre Phase am 5. Gärtag ein von der Firma Novoferment zur Verfügung gestellte immobilisierte Fructose-Glucose-Isomerase eingesetzt. Dieses von Bakterien gebildete Enzym wird bei der Herstellung von Glucose-Fructose-Sirup aus Glucosesirup in der Süßwarenindustrie eingesetzt, wo aus der Glucose die süßere Fructose hergestellt wird und das Zuckergemisch wie beim Invertzucker flüssig vorliegt. Liegen jedoch höher Fructosegehalte vor kann dieser Prozess auch umgekehrt werden und Fructose zu Glucose umgewandelt werden.

Da wie bereits mehrfach erwähnt, der verwandte 1996er Rieslingmost keine Neigung zu Gärstörungen besaß, konnte durch den Einsatz der Isomerase keine nennenswerten Unterschiede in der Gärintensität erzielt werden. Es war jedoch augenfällig, dass nach Einsatz der Isomerase am 5. Gärtag die Zelldichte in dieser Variante um 15 % niedriger war, als in der unbehandelten Kontrolle. Der Einsatz dieser Isomerase könnte für die Zukunft ein wichtiges Hilfsmittel zur Vermeidung und Behebung von Gärstörungen darstellen, vorausgesetzt, dass sie auch für die Weinherstellung zugelassen wird.

Zusammenfassung des Kapitels „Glucose-Fructose-Verhältnis“

- Die Weitung des Glucose-Fructose-Verhältnis führt zu einer Gärverlangsamung und kann unter widrigen Umständen zum Gärabbruch führen.
- Experimentell konnte der Einsatz einer Glucose-Fructose-Isomerase zu keiner veränderten Gärkinetik führen, wahrscheinlich weil die gute Versorgung der Mostes eine hohe Endvergärung sicherte.

5 Möglichkeiten zur Vermeidung von Gärstörungen

5.1 Optimale Herstellung eines Hefeansatzes

Die Hefe ist der Dreh- und Angelpunkt einer erfolgreichen Vergärung. Dabei werden in der Praxis häufig viele Fehler in der Herstellung des Hefeansatzes gemacht, wenn auf das Vorquellen (Rehydratisierung) der Hefe verzichtet wird oder das Vorquellen in zu kaltem oder zu heißem Wasser oder Most durchgeführt wird. Auch die leider noch gängige Praxis, gärende Hefen aus dem einen Gebinde in das in Gärung zu bringende Gebinde zu überführen ist mit großen Risiken behaftet. Zum einen weiß man ohne eine gute mikrobiologische Kontrolle nicht, was man überimpft, da unerwünschte Hefen und Bakterien vorliegen können, die zu erhöhter flüchtiger Säure oder einem spontanen BSA führen. Ferner sind solche Hefen bereits stark in ihren Überlebensfaktoren wie Membranlipiden und Ergosterol abgereichert, so dass sie sich nur noch unzureichend vermehren können und eine geringe Alkoholtoleranz aufweisen.

Die Bereitung des Hefeansatzes beginnt bereits parallel zur Vorklärung der Moste. Die Reinzuchthefer werden in mindestens die zehnfache Menge eines auf 35 °C angewärmten Most/Wassergemisch (1:1) eingerührt und 20 Minuten quellen gelassen. Diese hohe Temperatur, die mit einem Thermometer kontrolliert werden muss, versetzt der Hefe einen Hitzeschock, der die Aktivität der Hefe besonders fördert. Wird reines Wasser verwandt, sollte die Hefe nicht länger als 30 Minuten ohne Nährstoffe zur Rehydratisierung darin verweilen.

Gleichzeitig wird etwa 1 bis 5 % der Mostmenge von oben aus dem Vorklär tank abgezogen, in ein Gefäß, etwa einer Plastiktonne, gelegt und auf 25-30 °C angewärmt, indem das Gefäß in eine größere Bütte (Lesebütte, Einheitsbehälter) mit entsprechend warmen Wasser gestellt wird. Die vorgequollene Hefe wird nun eingerührt und durch häufiges Umrühren gut mit Sauerstoff versorgt. Der Temperatur sprung vom 35 °C warmen Wasser-Most-Gemisch zu dem Most darf maximal 10 °C betragen.

Während der 12- bis 18-stündigen Mostvorklärung kühlt der Hefeansatz langsam im Wasserbad auf Kellertemperatur ab. Nach ausreichender Mostvorklärung wird der Hefeansatz im Gärgebinde vorgelegt und mit Most aufgefüllt.

Bei besonders schwierigen Partien kann periodisch das Rührgerät eingeschaltet werden, um die Sauerstoffversorgung der Hefe zu verbessern und eine erhöhte Vermehrungsrate zu realisieren. So geben sie ohne zusätzliche Kosten der Hefe eine hervorragende Ausstattung an Membranlipiden, die als Überlebensfaktoren die stationäre Phase verlängern und eine höheren Endvergärungsgrad ermöglichen

Die Hefeinsaatmenge sollte nicht unter 10 g/hl liegen. Hier sollte sich der Anwender an die Empfehlungen der Hersteller orientieren. Je später der Lesetermin, je höher die Qualität des Lesegutes und je niedriger die Kellertemperatur oder über die Kühlung eingestellte Gärtemperatur, desto höher sollte die Hefeinsaatmenge sein. Bei schwierigen Mosten haben sich Einsaatmengen bis zu 40 g/hl bewährt ebenso wie die pauschale Erhöhung der Hefeinsaatmenge um 2 g/hl pro 10 % Fäulnisgrad (Hühn and Großmann, 1997). Es ist oftmals ökonomischer, nicht am Anfang an der Hefe zu sparen, da stecken gebliebene Gärungen oftmals nur mit einem kräftigen neuen Hefeansatz wieder in Gang gebracht werden können, die neben erhöhten Arbeitskosten und qualitativer Risikofaktoren, auch höhere Kosten für die Reinzuchthefer verursachen.

Eine leichte Schwefelung (30 bis 50 mg/l SO₂) des Mostes geben der Saccharomyceshefe einen Vorsprung vor den wilden Hefen, die ohne produktiv zur Endvergärung beizutragen, nicht unerhebliche Nährstoffreserven am Anfang der Gärung aufbrauchen. Dies gilt insbesondere für Kaltgärungen, da die *Kloeckera apiculatus* sich besser bei kalten Temperaturen vermehrt als die *Saccharomyces cerevisiae*. Es wurde jedoch auch schon von Hühn und Großman berichtet, dass einige wilde Hefen sowohl bei 15

und 20 °C besser mit einer Schwefelung zurecht kamen, als die eingesetzten *Saccharomyces cerevisiae* Reinzuchthefen, zumal mit Einsetzen der Gärung der Acetaldehyd sehr rasch die freie SO₂ abbundet (Hühn and Großmann, 1997).

Es sollte in der Zukunft, wenn entsprechende Daten vorliegen, Hefestämme mit einem geringen Stickstoffbedarf eingesetzt werden. Meist haben solche Stämme, die zu einer Zeit selektioniert wurden, als aufgrund eine hohen Stickstoffdüngung die Moste überversorgt waren, einen höheren Stickstoffbedarf. Diese Stämme neigen auch vermehrt zur Böckserbildung. Wie stark der Stickstoffbedarf von kommerziellen Reinzuchthefen ist kann in einer Publikation von Rauhut, Kürbel und Großmann nachgelesen werden (Rauhut et al., 1996a). Da keine eigenen Untersuchungen zum Stickstoffbedarf einzelner Hefestämme angestellt wurden, kann im Rahmen dieses Forschungsberichtes keine Empfehlungen von kommerziellen Reinzuchthefen gemacht werden. Hier sei auf die zukünftigen Publikationen der Arbeitsgruppe Großmann und Rauhut aus Geisenheim verwiesen.

Zusammenfassung des Kapitels „Optimale Herstellung eines Hefeansatzes“

- Reinzuchthefen profitieren bei der Vorquellung von einem milden Hitzeschock von 35 °C.
- Parallel zur Vorklärung des Mostes wird die Hefe in einer kleinen und angewärmten Teilmenge des Mostes vermehrt und adaptiert mit der langsamen Abkühlung der Teilmenge auf die angestrebte Vergärungstemperatur und den niedrigen pH-Wert des Mostes
- Je kühler der Most und je höher der Fäulnisgrad der Trauben desto höher sollte die Einsatzmenge der Reinzuchtheffe ausfallen. Sie sollte nie 10 g/hl unterschreiten.

5.2 Temperaturführung

Gärstörungen treten gehäuft bei später gelesenen Trauben auf, die aufgrund des höheren Mostgewichtes eine längere Gärung und steigende Alkoholgehalte aufweisen. In traditionell arbeitenden Betrieben ohne Gärkühlung treten die meisten Gärstörungen aber erst nach einem größeren und abrupten Temperaturabfall der Kellertemperatur auf oder in solchen Gebinden, die durch ihre räumliche Anordnung in einem Kaltluftstrom stehen. Plötzliche Temperaturunterschiede von 3°C und mehr können sich gegen Ende der Gärung verheerend auswirken. Die Hefe kämpft zu diesem Zeitpunkt mit zwei Problemen:

- Der steigende Alkoholgehalt erhöht durch die Veränderung der Zellmembran das Einströmen der H⁺-Ionen in die Zelle und die Hefe muss immer mehr Energie aufwenden, um die H⁺-Ionen aus der Zelle zu schleusen, um nicht innerlich zu versauern.
- Zum zweiten weitet sich gegen Ende der Gärung das Fructose-zu-Glucose-Verhältnis. Dies hat einen verminderten Zuckertransport zur Folge, der nicht nur für einen hohen Endvergärungsgrad wichtig ist, sondern auch zur Energiegewinnung durch die Hefe, die dringendst für die Aufrechterhaltung des zellinternen pH-Wertes benötigt wird.

Verschärfen sich zu diesem kritischen Zeitpunkt zusätzlich die Lebensbedingungen in Form eines plötzlichen Temperaturabfalls, kann das ganze System zusammenbrechen und die Hefe stellt ihre Gärung ein.

Betriebe die Möglichkeiten zur Temperaturführung besitzen sind gut beraten, mit der Weitung des Fructose-zu-Glucose-Verhältnisses ab 50 g/l Restzucker die Temperatur wieder leicht anzuheben auf 18 bis 20 °C. Zu diesem Zeitpunkt bedarf es keiner Zügelung der Hefeaktivität, da die natürlichen Gegebenheiten im Wein bereits eine Verlangsamung der Gärung bewirken. Bei sehr schleppenden Gärungen, die bereits länger als vier Wochen andauern, kann sich insbesondere bei Weinen mit einem erhöhten pH-Wert (hohe Qualitäten, säurearmen Rebsorten) bereits eine Milchsäurepopulation in dem Hefegelä-

ge etabliert haben. Oftmals genügt ein geringer Temperaturanstieg, um einen biologischen Säureabbau (BSA) in Gang zu setzen, der aus zweierlei Gründen unerwünscht ist:

- Bei der Anwesenheit von Glucose, aber auch von Fructose können heterofermentative Milchsäurebakterien nach dem Abbau der Äpfelsäure und Citronensäure aus einem Gramm Zucker 0,3 g Essigsäure bilden, so dass bereits eine Verstoffwechslung von 3 bis 4 g Zucker zu einem nicht mehr verkehrsfähigen Wein führen.
- Bei säurearmen Weinen, die aufgrund der Gärstörungen meist auch höhere Restzuckeranteile aufweisen, ist aus sensorischen und stilistischen Gründen die Säureerhaltung äußerst wichtig.

Daher sollte bei solchen Weinen vor der Temperaturerhöhung eine Probe von dem Hefegelage gezogen werden und mikroskopisch auf die Anwesenheit von Milchsäurebakterien untersucht werden.

Zusammenfassung des Kapitels „Temperaturführung“

- Rasche Temperaturabsenkungen während der Gärung müssen vermieden werden.
- Mit dem Anstieg der Alkoholkonzentration und Weitung des Glucose-Fructose-Verhältnisses sollte eine gekühlte Gärung in der Temperatur angehoben werden, um die Hefe in der Endvergärung zu unterstützen.
- Bei langsamen Gärungen sollte jedoch vorher das Hefegelage auf Anwesenheit von Milchsäurebakterien mikroskopisch untersucht werden, um mit der Temperaturerhöhung, nicht einen BSA einzuleiten.

5.3 Stickstoffversorgung

Wie im vorherigen Kapitel umfassen ausgeführt, kann in stickstoffunterversorgten Mosten, der Stickstoffmangel zu einer unzureichenden Bildung von Hefemasse führen und im späteren Verlauf der Gärung die Neubildung der Zuckertransporter behindert werden, was Gärstörungen zur Folge hat. Daher ist es dringend ratsam, in diesen Mosten mittels Gärsalzen oder Heferindenpräparaten eine Erhöhung der Stickstoffgehalte vorzunehmen.

Da in der Praxis die meisten Moste Bentonit geschönt werden, sollten diese Moste alle nach der Mostschönung mit der Höchstmenge von 60 mg/l Thiamin oder Vitamin B₁ angereichert werden. Gleiches gilt für Moste aus botrytisbefallenen Lesegut.

5.3.1 Zeitpunkt der Gabe von Gärsalzen

Über den richtigen Zeitpunkt der Gärsalz gibt es jedoch noch widersprüchliche Meinungen. Tatsache ist, dass eine sehr späte Gabe von Ammoniumsalzen ebenso keinen Sinn macht wie eine späte Gabe von Aminosäuren, da die Hefe mit steigendem Ethanolgehalt immer weniger Ammonium und Aminosäuren aufnehmen kann. Das Ammonium (NH₄⁺) ist positiv geladen und gibt in der Hefe ein H⁺-Ion ab. Da dies aber den pH-Wert in der Hefezelle absenkt, transportiert die Hefe das H⁺-Ion unter Energieverbrauch aus der Zelle. Gegen Ende der Gärung steht aber aufgrund der verlangsamten Gärung kaum mehr Energie zur Verfügung und zum zweiten ist die Protonenpumpe voll mit dem Ausschleusen der H⁺-Ionen beschäftigt, die durch die zunehmenden Lecks der Membran von allein hereinströmen. Gleiches gilt für die Aminosäuren. Sie sind zwar nicht positiv geladen, aber um sie aus dem Most, wo sie in geringer Konzentration vorliegen in die Hefe mit einer hohen Aminosäurenkonzentration zu transportieren, bedarf es eines gleichzeitigen Transportes eines anderen Ions, das nicht gegen ein Konzentrationsgefälle, sondern mit einem Konzentrationsgefälle eingeschleust werden kann. Hierzu bieten sich vornehmlich H⁺-Ionen an, da im Most bei pH-Werten von 3 bis 4 die Konzentration der H⁺-Ionen rund 100 bis 1000 mal höher ist als in der Hefe mit einem pH-Wert von 6. Daher gelangen auch bei der Ein-

schleusung von Aminosäuren erneut H^+ -Ionen in die Hefe, die von der überlasteten Protonenpumpe wieder herausgeschleust werden müssen. Zu diesem späten Zeitpunkt wird die Aufnahme von Stickstoff vornehmlich durch die Protonenpumpe reguliert.

Daher ist es das Bestreben der Hefezelle Stickstoffkomponenten dann aufzunehmen, wenn ausreichend Energie für die Protonenpumpe vorliegt und die Membran noch intakt ist. Die Hefe kann sich im Gegensatz zu den Milchsäurebakterien eine Stickstoffpool anlegen. Die basischen und neutralen Aminosäuren werden in der Vakuole gelagert, während Glutaminsäure und Asparaginsäure im Cytoplasma vorliegen. Durch die räumliche Trennung der verarbeitenden Enzyme einerseits und ihrer Substrate, der Aminosäuren, andererseits, kann die Hefe über die Freigabe von Aminosäuren aus der Vakuole ihren Stickstoffbedarf regulieren und ist bei gut gefülltem Reservoir fast unabhängig von der Aufnahme von Stickstoff zu einem späteren Zeitpunkt der Gärung.

Ammonium gehört mit Glutaminsäure zu den beiden am raschesten aufgenommenen Stickstoffkomponenten, gefolgt vom Glutamin. Eine Ammoniumgabe in den Most ist deswegen problematisch, da bei unzureichenden Speicherkapazitäten in der Hefe das erhöhte Ammoniumangebot zu einer stürmischen Gärung führt, die mit erhöhtem Energieaufwand in Form von Kühlung wieder gebremst werden muss. Da zum Beginn der Wachstumsphase trotz Reinzuchthefeinsatz die *Saccharomyces cerevisiae* gegenüber den wilden Hefen noch nicht die Oberhand gewonnen hat, fördert eine Gabe von Gärsalz im Moststadium auch die wilden Hefen, die Zucker zum Aufbau ihrer Zellmasse verbrauchen, aber nicht zur alkoholischen Gärung beitragen.

Eine spätere Ammoniumgabe zum Zeitpunkt wenn die Hälfte des Zuckers abgebaut ist, hat in zahlreichen Versuchen eine stimulierende Wirkung auf die Gärintensität gehabt, so dass zu diesem Zeitpunkt die Ammoniumaufnahme noch nicht behindert worden ist (Sablayrolles, 1996). Im Sinne eines qualitätsorientierten Vergärung kann nach der Phase der stürmischen Gärung mit der Gabe der Gärsalze auch die Gärgebinde aufgefüllt werden, um den Verlust von Aromastoffen über die Reduzierung der Oberfläche herabzusetzen und bei Abklingen der Gärung Oxidationsprozesse zu unterbinden.

Auch wenn Gärsalze relativ preiswert sind, sollte man in gut versorgten Mosten kein Gärsalz zusetzen, da von der Verbesserung des Stickstoffangebotes auch Schadorganismen profitieren können. Daher ist es für den Kellerwirt sehr wichtig, einen Anhaltspunkt über die Stickstoffversorgung der Moste zu erhalten. Dies trifft besonders auf Kellermeister in Genossenschaften und Weinkellereien zu, die über kein Wissen bezüglich der Traubenherkunft und dem Versorgungsgrad der entsprechenden Weinberge verfügen.

5.3.2 Aussagekraft von Schnellmethoden zur Stickstoffbestimmung im Most

Neben der ursprünglich für die Fruchtsaftindustrie entwickelte Formoltitration wurden zwei Schnellmethoden neueren Datums im Mostbereich angewandt: Der im Auftrag des Bundes der Deutschen Oenologen von Sponholz entwickelte und von der Firma Erbslöh vertriebenen Geisenheimer Stickstofftest, der mit dem fern N-Wert Auskunft gibt über den Gehalt der wichtigsten Speicheraminoäure der Rebe, dem Arginin, gibt und zum zweiten über die Konzentration des Ammoniums. In der USA wurde zeitgleich von Butzke an der University of California in Davis der sogenannte NOPA-Test (Nitrogen by OPA) entwickelt (siehe Kapitel 3.4).

Alle drei Schnelltests erfassen nicht das Ammonium, das eine bevorzugte Stickstoffquelle der Hefen ist. Daher war es interessant nachzufragen, inwieweit die durch die Schnelltests angezeigte Stickstoffmenge mit der getrennt enzymatisch bestimmten Ammoniumkonzentration in Beziehung stehen. Dabei konnte wie in Abb. 44 gezeigt die Formoltitration den Ammoniumgehalt am besten vorhersagen, da das Bestimmtheitsmaß $R^2=0,5067$ besagt, dass mit der Angabe des freien Aminosäure-Stickstoffs bereits 50,67 % der Variation im Ammoniumgehalt erfaßt wird. Liegt also nach der Formoltitration ein Stick-

stoffmangel vor, so liegt mit 50 %iger Sicherheit auch ein Mangel im Ammoniumgehalt vor. Bei dem Geisenheimer Stickstofftest konnte der ferm N-Wert nur 22,5 % der Variation im Ammoniumgehalt vorhersagen und der auf dem amerikanischen NOPA-Test basierende Stickstoffangabe konnte ebenfalls nur 24,58 % der Variation im Ammonium beschreiben. Als Fazit muss daher gefordert werden, dass die Messung des Aminosäure-Stickstoffs mit welchem Schnelltest auch immer nicht ausreicht, um den hefeverwertbaren Stickstoff sicher zu erfassen und es einer zusätzlichen Ammoniumuntersuchung bedarf. Dem haben Sponholz und die Firma Erbslöh beim Geisenheimer Stickstofftest Rechnung getragen und bieten neben der Bestimmung des ferm N-Wertes eine parallele enzymatische Bestimmung des Ammoniums an.

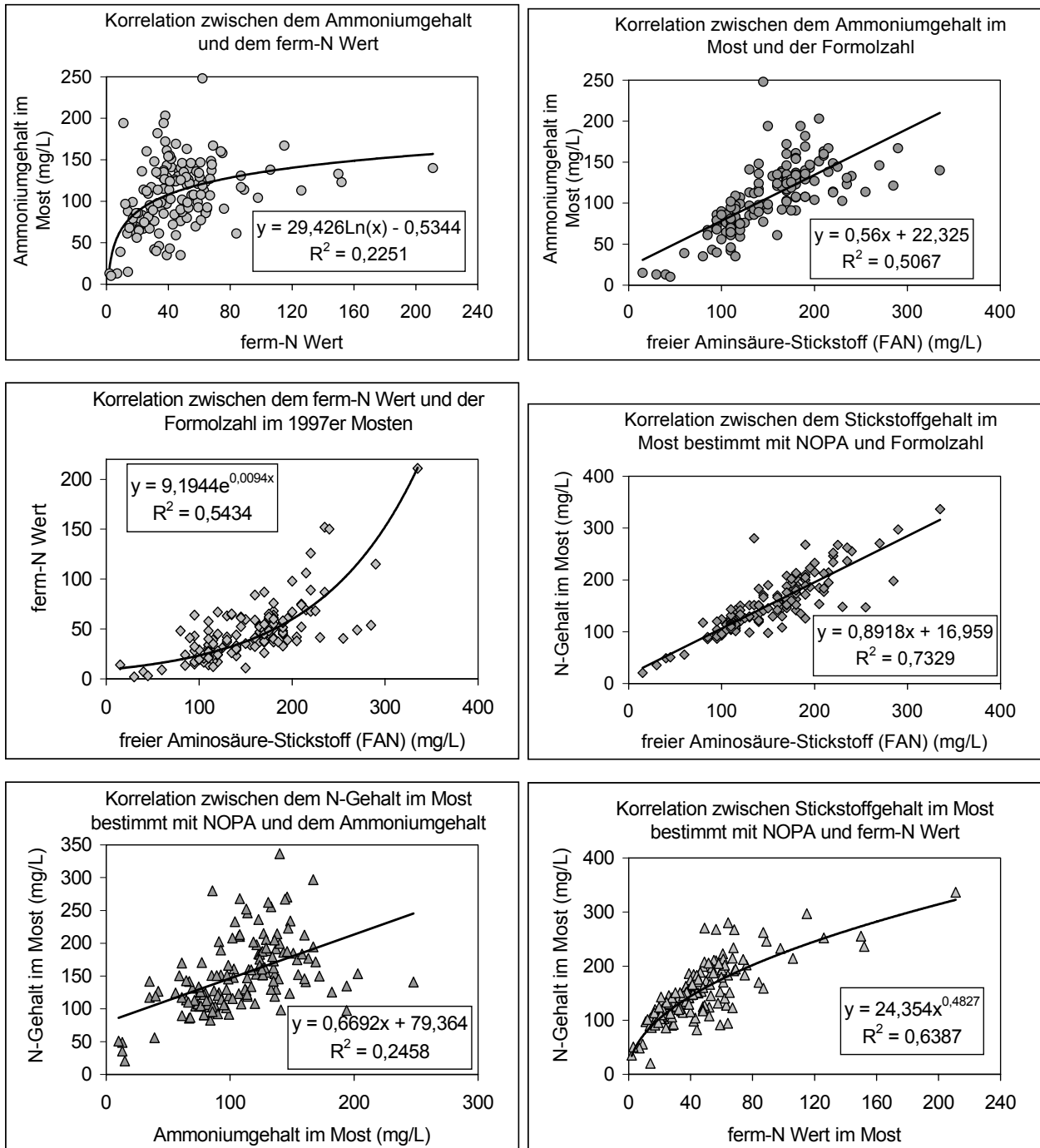


Abb. 44: Korrelation zwischen dem Ammoniumgehalt und den Aminosäure-Stickstoffgehalten bestimmt durch die drei Schnelltests ferm N-Wert, Formoltitration und NOPA sowie zwischen den Aminosäure-Stickstoffgehalten bestimmt durch die drei Schnelltests

Obwohl alle drei Schnelltests auf unterschiedlichen chemischen Reaktionen basieren und verschiedene Zeigersubstanzen untersuchen, stimmen sie in ihrer Aussage recht gut überein. So stimmt die Angabe der freien Aminosäure-Stickstoffkonzentration der Formoltitration zu 73,29 % mit der Stickstoffangabe des NOPA-Tests überein. Dies ist dadurch zu erklären, dass beide Tests die gleiche chemische Zielgröße, nämlich die in alpha-Stellung befindliche Aminogruppe, zur Angabe des Stickstoffgehaltes heranziehen, nur mit unterschiedlichen chemischen Reaktionen. Der ferm N-Wert hingegen beschreibt nur 54,34 % der Variation des freien Aminosäure-Stickstoffs der Formoltitration und 63,87 % der Stickstoffangabe des NOPA-Tests. Diese geringere Übereinstimmung beruht darauf, dass der ferm N-Wert nur die Aminosäure Arginin enzymatisch erfasst, nicht aber den alpha-Aminostickstoff aller Aminosäuren wie die anderen beiden Schnelltests. Die trotzdem recht gute Korrelation belegt daher, dass das Arginin als die Hauptspeicheraminoäure der Rebe tatsächlich eine gute Zeigersubstanz für die gesamte Versorgung der Moste mit Aminosäuren darstellt.

Die Hauptkomponentenanalyse in Abb. 45 fasst die Ergebnisse der einzelnen Korrelationsanalysen zusammen. Sie weist relativ enge Winkel zwischen den Pfeilen auf die den ferm N-Wert, den NOPA N-Gehalt, den freien Aminosäure-Stickstoff der Formolzahl und den Ammoniumgehalt charakterisieren. Dies deutet auf eine hohe positive Korrelation zwischen den Ergebnissen der einzelnen Schnellmethoden hin. Die 90 °-Winkel zum pH-Wert und zur titrierbaren Säure im Most deuten an, dass der Stickstoffgehalt nicht in Abhängigkeit zum Säuregehalt der geernteten Trauben stand. Der enge Winkel zwischen den Pfeilen für den Mosttrub und den durch die verschiedenen Methoden gemessenen Stickstoffgehalte weist eine hohe Korrelation aus, was einleuchtend ist, denn der Trub dient der Hefe auch als Stickstoffreservoir über kleinere Eiweißfragmente (Peptide).

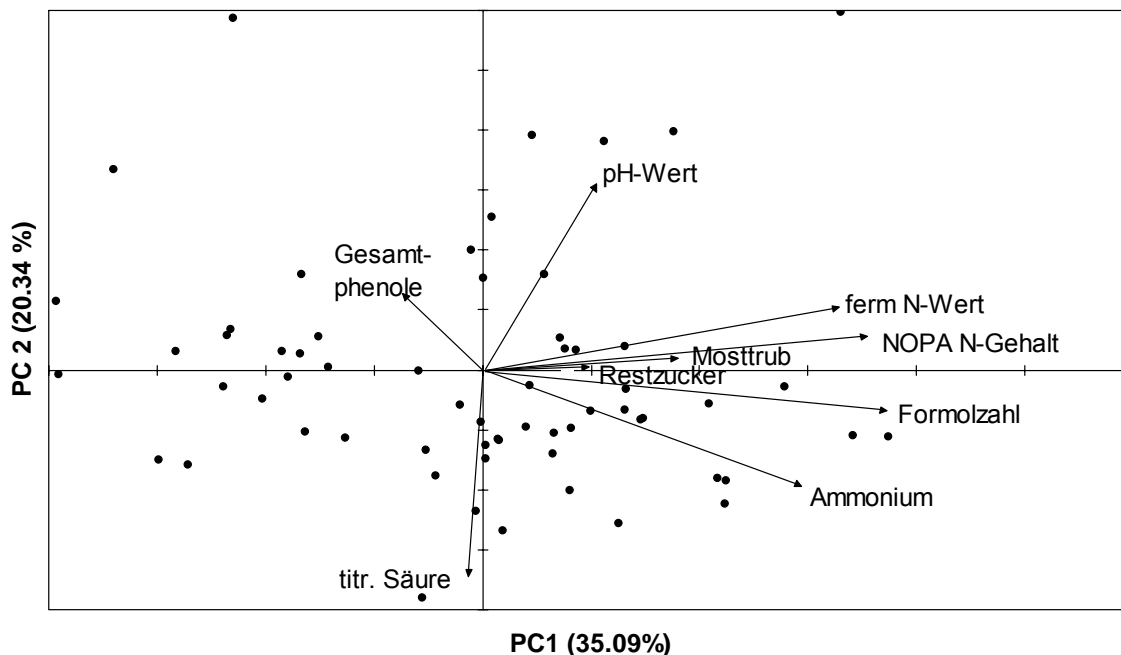


Abb. 45: Hauptkomponentenanalyse: Projektionen des Endvergärungsgrades, Mosttrubes, titrierbaren Säure, pH-Wertes, Gesamtphenole und Stickstoff-Summenparameter in 63 Pfälzer Mosten des Jahrgangs 1997 auf die 1. Hauptkomponente (PC 1; waagerecht) und die zweite Hauptkomponente (PC 2; senkrecht). Darstellung der „loadings“ (Pfeile) und „scores“ (runde Symbole) der einzelnen Moste.

Weniger einleuchtend ist die positive Korrelation zwischen den Stickstoffwerten und dem Restzuckergehalt. Hier wäre eher eine negative Korrelation zu erwarten, da der Vergärungsgrad mit steigender Stickstoffversorgung ebenfalls verbessert werden sollte. Da die ersten zwei PC's jedoch zusammen nur

55 % der Gesamtvarianz beschreiben, sollte zur Beurteilung der Beziehung zwischen den Stickstoffwerten und dem Endvergärungsgrad die Ergebnisse der einzelnen Korrelationen zwischen den Stickstoffangaben der Schnelltests einerseits und dem Vergärungsgrad andererseits in Abb. 46 beurteilt werden.

Vergleichbar mit den per HPLC analysierten Aminosäure-N-Gehalten konnte für die 60 analysierten Moste keine aussagekräftige Korrelation zwischen dem Endvergärungsgrad einerseits und der Formolzahl ($R^2=0,047$) dem NOPA-Wert ($R^2=0,049$), dem Ammoniumgehalt ($R^2=0,002$) und dem ferm N-Wert ($R^2=0,003$) andererseits etabliert werden. Für die Beurteilung der Stickstoffversorgung entsprechend des N-ferm Wertes lagen nur 3 % der 98 untersuchten Mostproben unterhalb eines Wertes von 20, der laut des Vertreibers der Geisenheimer Stickstofftests der Firma Erbslöh, Geisenheim einen Zusatz von Hefenährstoffen dringend erfordert. Nur 9 % der Moste lagen im ferm N-Wert im Bereich von 20 bis 25, der aufgrund drohender Gärstörungen eine Zugabe von Hefenährstoffen empfehlenswert macht. 17 % der Moste wird eine ausreichende (ferm N 25 - 35) und 70 % der Moste eine gute Stickstoffversorgung (ferm N > 35) attestiert. Die mit dem selben Test ermittelten Ammoniumgehalte schwankten zwischen 35 und 194 mg/l mit einem Mittelwert von 111 mg/l.

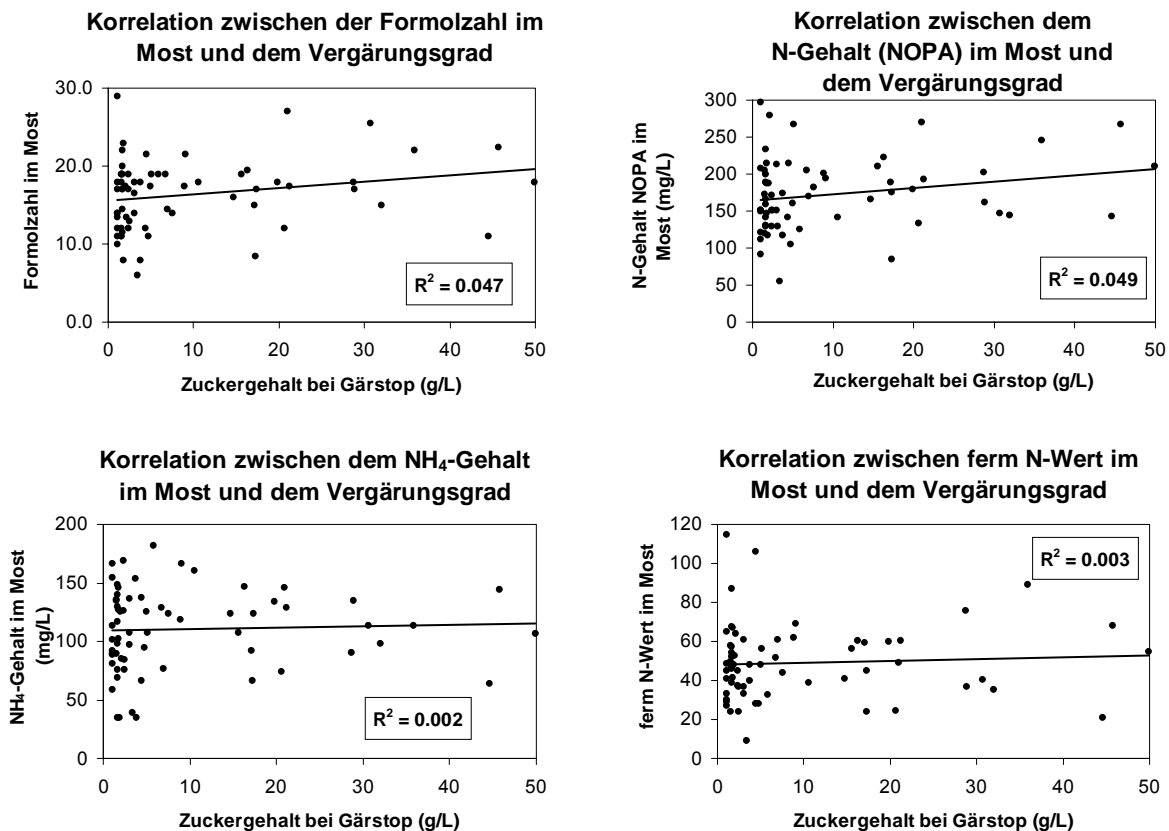


Abb. 46: Korrelation zwischen dem Endvergärungsgrad und dem mit verschiedenen Schnellmethoden bestimmten Stickstoffgehalt in Mosten des Jahrgangs 1997 (n=60)

Obwohl der ferm N-Wert nicht Ammonium erfasst, kann der aufgrund des ferm N-Wertes bescheinigten guten Stickstoffversorgung der Moste auch für das Ammonium zugestimmt werden. Die in Deutschland auf 30 g/hl limitierte Zugabe von Diammoniumhydrogenphosphat (DAHP), die einer Erhöhung des Ammoniums um 81,8 mg/l entspräche, wäre bei den meisten untersuchten Mosten des Jahrgangs 1997 daher nicht notwendig. Nicht zuletzt in Hinblick auf die in Kanada und den USA stärker in der öffentli-

chen Diskussion stehende Ethylcarbamatgehalte im Wein sollte eine zu hohe Stickstoffversorgung der Moste vermieden werden.

Aus anderen Jahrgängen und Weinanbaugebieten gibt es jedoch zahlreiche Untersuchungen, die einen weitaus geringeren Stickstoffgehalt in den Mosten vorfanden und wo eine entsprechende Verbesserung der Stickstoffversorgung durch die Zugabe von Gärsalzen empfehlenswert war.

Zusammenfassung des Kapitels „Stickstoffversorgung“

- Die Stickstoffform der Gär Salz, das Ammonium, wird sehr rasch von der Hefe aufgenommen und kann in der Hefe gespeichert werden. Der Einsatz von Ammonium kann sich vom Moststadium bis hin zur Vergärung der Hälfte des Zuckers erstrecken.
- Bei maischevergorenen Rotweinen, die nach dem Abpressen angereichert werden, hat sich in der Praxis eine Ammoniumgabe zu diesem späten Zeitpunkt bewährt.
- Beim Eintritt einer Gärverlangsamung am Ende der Gärung kann die Hefe kein Ammonium mehr aufnehmen.
- Zwischen den untersuchten Schnelltests für Stickstoff belegten Korrelationsanalysen ein hohes Maß an Übereinstimmung. Das zeigt, dass die im ferm-N-Wert erfaßte Argininkonzentration ein guter Indikator für die gesamte Stickstoffversorgung ist.
- Die geringe Übereinstimmung zwischen Ammonium und dem ferm-N-Wert weist auf unterschiedliche Anreicherungsmechanismen hin und begründet die parallele Messung im Rahmen des Geisenheimer Testkits.
- Vergleichbar mit den per HPLC gemessenen Aminosäuren konnte für 60 Moste des Jahrgangs 1997 zwischen den auf den Ergebnissen der verschiedenen Schnelltests basierenden Stickstoffversorgung einerseits und dem Zuckergehalt beim Gärende andererseits keine aussagekräftige Beziehung etabliert werden.

6 Vorgehensweise bei einer verlangsamten Gärung

Es sollte stets ein wichtiger Grundsatz befolgt werden: Es ist immer einfacher, ein verlangsamte Gärung wieder anzuregen, als eine bereits zum Stillstand gekommene Gärung wieder in Gang zu bringen. Daher sollte man nicht warten, bis das Kind in den Brunnen gefallen ist, sondern vorbeugend aktiv werden.

Mit der gleichzeitigen Absenkung des Glucose-Fructose-Verhältnisses und dem Anstieg der Alkoholkonzentration verlangsamt sich der Zuckertransport, der maßgeblich die Gärgeschwindigkeit bestimmt. Um den Verlauf der Gärung zu verfolgen, sollte regelmäßig die Zuckerabnahme bestimmt werden, was der Einfachheit halber bis zu einem Restzuckergehalt von 30 g/l mit einer Dichtespindel geschehen kann. Wie lange die Mostspindel oder auch das Refraktometer noch aussagekräftige Ergebnisse liefert, ist auch vom Alkoholgehalt der Weine abhängig. Bei geringeren Werten kann die Restzuckerbestimmung chemisch durch die verschiedenen Methoden nach Jakob oder Rebelein erfolgen oder notfalls auch mit dem Clini-Test. Zwischen Restzuckerwerten von 0 und 5 g/l gibt es eine eindeutige Farbreaktion, die anhand von Farbskalen dem jeweiligen Restzuckerwert zugeordnet werden können. Für den Bereich von 5 bis 30 g/l Restzucker wird der Wein mit bis zu 5 Teilen Wasser verdünnt, um den Restzuckergehalt der Probe in den Messbereich des Clini-Tests von 0 bis 5 g/l abzusenken.

Die Daten der Restzuckerbestimmung können in den im Anhang 11.4 enthaltenen Bogen eingetragen werden und man kann anhand der Gärkurve gut erkennen, ab wann sich die Gärintensität verlangsamt. Bei einer Verlangsamung der Gärkurven sollten die folgenden Maßnahmen ergriffen werden.

- Anhebung der Gärtemperatur auf 18 bis 20 °C.
- Leichtes Aufrühren der Hefe, was sehr vorsichtig passieren muss, um ein schlagartiges Entbinden der Kohlensäure zu vermeiden.
- Gabe von Heferindenpräparaten zur Anhebung der inneren Oberfläche, Versorgung der Hefen mit zusätzlichen Überlebensfaktoren und Entfernung eventuell vorliegender toxischer Substanzen.
- Bei Qualitätsweinen, die noch nicht angereichert wurden, kann über eine Anreicherung das Glucose-Fructose-Verhältnis auf 1 : 2 angehoben werden, was meist eine problemlose Endvergärung in Gang bringt. Sobald auch in Deutschland eine gestaffelte Anreicherung erlaubt sein wird, kann dieses Verfahren auf alle Qualitätsweine angewandt werden, die noch Anreicherungsraum besitzen und noch nicht die Alkoholobergrenze erreicht haben.
- Zeigt sich bei Vorversuchen, dass eine Bentonit- oder Kohleschönung die Gärung über die Entfernung von toxischen Stoffen wieder belebt, kann dies auch im großen Gebinde durchgeführt werden, wobei auf die Entbindung von CO₂ geachtet werden muss.

7 Maßnahmen zur Reaktivierung einer gestockten Gärung

Ist eine Gärung komplett zum Stillstand gekommen, reagieren die in der Mehrzahl noch nicht abgestorbenen, aber den Zuckertransport und damit die Gärung eingestellt habenden Hefen nicht mehr auf die verschiedensten Reaktivierungsmaßnahmen wie Temperaturerhöhung, Nährstoffhöhung oder Erhöhung der inneren Oberfläche über Heferinden. Jegliche Erhöhung der Stickstoffgehalte fördert zu diesem Zeitpunkt nur die Entwicklung anderer Mikroorganismen. Die inaktiven Hefen können weder Aminosäuren noch Ammonium aufnehmen, da die damit verbundene Aufnahme von H^+ -Ionen durch die Hefe aufgrund der Überlastung der Protonenpumpe nicht mehr akzeptiert wird. Gleiches gilt für die Temperaturerhöhung: Aufgrund der zunehmenden Autolyse der inaktiven Hefen findet die Spontanflora der Milchsäurebakterien ein verbessertes Nährstoffangebot und erhöhen ihre Zelldichte. Erfolgt nun eine Temperaturanhebung, ist dies genau der Impuls, einen BSA zu beginnen. Die häufig in der Praxis eingesetzten Infrarot-Lampen verursachen aufgrund fehlender Konvektion Überhitzungen im Wein, was zur Bildung von Fehleraromen führen kann.

7.1 Neuer Hefeansatz

Eine neuer Hefeansatz trifft in dem steckengebliebenen Wein auf sehr schwierige Bedingungen und bedarf daher einer besonderen Anzucht. Zum einen liegt bereits ein hoher Alkoholgehalt vor, das Glucose-Fructose-Verhältnis ist gering, es liegt meist ein Nährstoffmantel vor, die Temperatur des Weines ist relativ gering und er ist übersättigt mit Kohlensäure.

Die erste Maßnahme ist das Abtrennen des alten Hefegelägers. Da es bereits zur Autolyse neigt, hat es oftmals einen hohen Besatz an Milchsäurebakterien, die damit gleich entfernt werden. Ferner können toxische Stoffe, die an der Hefezellwand adsorbiert sind, aus dem Gebinde genommen werden. Sofern die alte Hefe ein Killerstamm war, kann durch ihre Abtrennung eine Hemmung des neuen, möglicherweise killersensitiven Hefeansatzes ausgeschlossen werden. Es bedarf keiner Filtration, sondern nur eines vorsichtigen Abstiches.

Es sollte immer ein anderer Hefestamm als der bereits verwendete benutzt werden. Dabei sollten gärkräftige Hefestämme angewandt werden, die von den Herstellern zum Umgären empfohlen werden oder eine hohe Alkoholtoleranz zeigen. Hier sei auf die umfangreiche Marktübersicht von Binder verwiesen (Binder, 1998). Wie bereits im Kapitel 4.11 ausgeführt, eignen sich *Saccharomyces bayanus* Stämme trotz ihrer aus der Sektbereitung bekannten guten Alkoholtoleranz nur bedingt zur Reaktivierung, da sie eine geringere Fructoseaufnahme zeigen als *Saccharomyces cerevisiae* Stämme (Gafner and Schütz, 1996). Trotzdem wurden in der Praxis gerade mit einigen Sekthefen auch gute Erfahrungen zur Reaktivierung von Gärungen gemacht.

Die Beimpfungsmenge sollte bei 40 g/hl und darüber liegen. Sie wird wie im Kapitel 7.1 beschrieben rehydratisiert und angezogen. In Abweichung zu den dortigen Angaben sollte bei der Rehydratisierung ein wenig Süßreserve verwandt werden, um das Glucose-Fructose-Verhältnis zu anzuheben.

Bevor nun das abgekühlte Gebinde mit dem Hefeansatz in das große Gärgebilde gegeben wird, sollte in einer Zwischenstufe der Gäransatz zuerst für einige Tage mit etwa 10% des Gesamtgebundes verschnitten werden. Das dient zur Überprüfung, ob der Hefeansatz mit den widrigen Bedingungen in dem steckengebliebenen Most überhaupt zurecht kommt. Zeigt dieses Gebinde eine gute Gäraktivität, kann es nun in das große Gärgebilde verschnitten werden. Die Gärung in dem Teilgebilde kann weiter gefördert werden durch eine angehobene Temperatur von 20 °C, Heferindepräparate und eine leichte Belüftung. Es soll darauf geachtet werden, dass beim Verschnitt in das Gärgebilde neben dem unvermeidbaren Alkoholschock nicht zusätzlich ein Temperaturschock von mehr als 10 °C eintritt. Hierzu sollte auch das Großgebilde angewärmt werden oder, falls dies nicht möglich ist, der Hefeansatz entsprechend abgekühlt werden.

Zusammenfassung des Kapitels „Neuer Hefeansatz“

Hefeanzucht für 1000 Liter eines in der Gärung gestockten Weines

- 500 g Reinzuchthefer in 3 Liter Wasser bei 35 °C für 20 bis 30 Minuten einrühren und quellen lassen

Zur Adaption an das alkoholische Milieu im Wein sind zu der Hefesuspension von 3 Litern hinzuzufügen:

- 4 Liter Wasser
- 1,5 Liter Flaschenwein gleicher Qualitätsstufe
- 1 kg Zucker (Saccharose)
- Bei Prädikatsweinen wird statt Wasser und Zucker 5 Liter einer entsprechenden Süßreserve verwendet.
- 300 g eines Heferindenpräparates

Dem Ansatz muss im Gefäß ausreichend Steigraum gewährt werden. Bei 18 bis 20 °C Temperatur sollte nach 12 Stunden eine Dichte von 0,995 erreicht haben, was einem Alkoholgehalt von 8 - 9 % vol. entspricht.

- Der Ansatz wird nun in 100 Liter des steckengebliebenen Weins eingerührt.
- Bei Entfaltung der vollen Gäraktivität, wird der Gäransatz in das Gesamtgebinde gegeben.

7.2 Verschnitt

Eine sehr viel einfachere Methode ist der Verschnitt mit einer Hefe aus einem anderen Gärgebilde, das eine gute Gäraktivität zeigt. Zur Sicherheit kann das Hefegeläge mikroskopisch auf Abwesenheit von Milchsäurebakterien und eine ausreichende Vitalität der Hefezellen untersucht werden. Diese Maßnahme hat den Vorteil, dass die Hefe bereits gut an den hohen Alkoholgehalt adaptiert ist und meist auch an die niedrige Kellertemperatur. Die Praxis hat aber leider gezeigt, dass eine vitale Hefe aus einem Gärmedium schnell ihre Vitalität einbüßen kann, wenn sie in den steckengebliebenen Wein verschnitten wird.

7.3 Alternativen

Langanhaltende Gärungen sind mit mikrobiologischen Gefahren behaftet und können auch mit sensorischen Qualitätseinbußen einhergehen. Es sollten daher weitere Alternativen geprüft werden:

- Muss der Wein unbedingt trocken sein, oder kann er auch als halbtrockener oder lieblicher Wein vermarktet werden?
- Kann der restsüße Wein aufgrund des hohen Fructosegehaltes nicht ein wertvoller Verschnittspartner für andere durchgegorene Weine sein?
- Wie früh soll der Wein vermarktet werden? Ist ein frühes Vermarktungsziel nicht beabsichtigt, soll der Wein grob abgestochen werden und absolut geschlossen in ein Edelstahltank gelegt werden. Der Wein sollte schwach abgeschwefelt werden und auf 10 - 20 mg/l freie SO₂ gestellt werden. Bei niedrigen pH-Werten und sehr kühlem Keller kann sogar auf eine Schwefelung verzichtet werden. Sobald sich der Keller im April oder Mai erwärmt, setzt die Gärung oftmals spontan ein oder sie kann mit der Animpfung mit einer Sekthefer eingeleitet werden. Solche Weine probieren sich aufgrund der Kohlensäure oftmals viel frischer und attraktiver als solche, die man mit Anwärmung und mehreren Hefeansätzen bis unter die Trockengrenze im Winter gequält hat.

An diesem Punkt soll an die Aussage eines sehr erfahrenen Kellerwirtes aus der „Arbeitsgruppe Gärstörung“ in der Pfalz erinnert werden, der sagte, dass uns heute einfach die Geduld und Ruhe fehlen würde, denn früher wäre es ganz normal gewesen, dass Weine bis in den Januar und Februar gegoren hätten, mit sehr gutem qualitativen Erfolg.

9 Schlussfolgerungen

- Gärstörungen sind ein sehr komplexes Phänomen. Zu ihrer Erklärung reichen Einzelfaktoren wie die Stickstoffversorgung, Vorklärungsgrad oder Temperatur alleine nicht aus. Daher muss zu ihrer Vermeidung und Behebung eine Vielzahl von Maßnahmen kombiniert werden.
- Der Einsatz von Reinzuchthefen beschleunigt den Aufbau einer ausreichend großen *Saccharomyces-cerevisiae*-Population. Knappe Nährstoffe werden nicht für das Wachstum wilder Hefen „verschwendet“. Je höher der Fäulnisgrad und je niedriger die Mosttemperatur, umso höher sollte die Einsaatmenge bemessen werden.
- Eine Hefekultur, die in einer Teilmenge des Mostes unter Belüftung angezogen wurde, stärkt die Widerstandskraft der Hefe gegenüber Alkohol und erhöht den Endvergärungsgrad.
- Die Zugabe eines Teils der erlaubten Menge an Gärsalz sollte erst nach Beendigung der stürmischen Gärphase erfolgen, um zu diesem späten Zeitpunkt die Proteinsynthese und damit die Zuckeraufnahme durch die Hefe erneut anzuregen.
- Die Gabe von Gärsalzen ist sowohl in der Menge als auch in ihrer qualitativen Beschränkung auf das Ammonium nicht ausreichend, starke Nährstoffdefizite in Mosten aus stickstoffunterversorgten oder trockengestressten Anlagen aufzuheben.
- Eine gleichzeitige Belüftung mit 5 mg O₂/l fördert die Alkoholtoleranz der Hefe. Diese sollte am besten am Ende der Wachstumsphase erfolgen.
- Mit der Verwendung von Heferindenpräparaten konnte in stark vorgeklärten Mosten ein deutlich höher Endvergärungsgrad erzielt werden und gleichzeitig die Glycerinbildung gesteigert werden.
- Tritt eine Gärverlangsamung oder Gärstörung ein dann sollten

⇒ die Temperaturen erhöht werden (15 – 20 °C),

⇒ die Überlebensfaktoren durch Zugabe von Heferindenpräparaten verbessert werden, und falls notwendig

⇒ frische Reinzuchthefen in einer mit Süßreserve angereicherten Teilmenge vorkultiviert werden und dem Wein zugesetzt werden. Die Zugabe der Süßreserve ist nur dann notwendig, wenn bereits ein weites Glucose-Fructose-Verhältnis vorliegt.

⇒ Zu diesem späten Zeitpunkt wird von der Hefe kein Ammonium mehr aufgenommen, so dass die Gabe von Gärsalzen nicht mehr sinnvoll ist.

Die Vermeidung von Gärstörungen würde von einer besseren mikrobiologischen/analytischen Kontrolle der Gärung stark profitieren. Dies umfasst:

- Aufzeichnung einer Gärkurve
- Genaue Kenntnis über die Zusammensetzung der Hefen im Gärgebilde und Anzahl der lebenden Hefen

-
- intelligentes Hefemangement, das die Temperatursteuerung, Stickstoffversorgung und Sauerstoffbelüftung abhängig macht von der physiologischen Phase, in der sich die Hefe während der Gärung befindet

Weitere Forschung ist notwendig:

- Nährstoffbedarf der Hefe, insbesondere in der stationären Phase im Allgemeinen und von einzelnen Hefestämmen im Besonderen
- Wärmebedarf der Hefe in den unterschiedlichen physiologischen Phasen
- Einfluss von Pflanzenphenolen und Phytoalexinen auf die Gärintensität
- Bestimmung der Faktoren, die bei der Alterung der Hefe und der Kommunikation zwischen Hefen eine Rolle spielen.

9 Literatur

- Agenbach, W. A.: A study of must nitrogen content in relation to incomplete fermentations, yeast production and fermentation capacity. *Proceedings of South African Enology Society* 1978 , 66-87.
- Binder, G.: Übersicht Reinzuchtheffen - Handelspräparate in Deutschland. *Das Deutsche Weinmagazin* 1998 , 53 , 31-35.
- Bisson, L. F.: Stuck and sluggish fermentations. *American Journal of Enology and Viticulture* 1999 , 50 , 107-119.
- Bisson, L. F.; Kunkee, R. E.: Yeast and biochemistry of ethanol fermentation. In *Principle and Practices of Winemaking* ; R. B. Boulton; V. L. Singleton; B. L. F. and R. E. Kunkee, Eds.; Chapman & Hall: New York, 1995; pp 102-192.
- Delfini, C.; Cocito, C.: Influence of clarification and suspended grape solid materials on sterol content of free run and pressed grape musts in the presence of growing yeasts. *American Journal of Enology and Viticulture* 1993 , 44 , 86-92.
- Delfini, C.; Conterno, L.: Influence of clarification and suspended solid contact on the oxygen demand and long-chain fatty acid contents of free run, macerated and pressed grape musts in the relation to acetic acid production. *Viticultural and Enological Sciences* 1992 , 47 , 69-75.
- Dittrich, H. H.: *Mikrobiologie des Weines* , 2. Auflage ed.; Eugen Ulmer Verlag: Stuttgart, 1987.
- Dukes, B. C.; Butzke, C. E.: Rapid determination of primary amino acids in grape juice using an o-phthalaldehyde/n-acetyl-L-cystein spectrophotometric assay. *American Journal of Enology and Viticulture* 1998 , 49 , 125-134.
- Ferrando, M.; Guell, C.; Lopez, F.: Industrial wine making: Comparison of must clarification treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1998 , 46 , 1523-1528.
- Gafner, J.; Schütz, M.: Impact of Glucose-Fructose-Ratio on stuck Fermentations. *Viticultural and Enological Sciences* 1996 , 51 , 214-218.
- Henick-Kling, T.; Edinger, W. D.; Larsson-Kovach, L.-M.: Survey of available nitrogen for yeast growth in New York grape musts. *Viticultural and Enological Sciences* 1996 , 51 , 169-174.
- Hühn, T.; Großmann, M.: Die Alkoholische Gärung: Stress für die Hefen. *Der Deutsche Weinbau* 1997 , 52 , 24-28.
- Ingledeu, W. M.: Nutrients, Yeast Hulls and Proline in the Wine Fermentation. *Viticultural and Enological Sciences* 1996 , 51 , 141-146.
- Jiranek, V.; Langridge, P.; Henschke, P. A.: *Seventh Australian Wine Industry Technical Conference, Adelaide* ; Winetitles, Adelaide, p 13-17.
- Kudo, M.; Vagnoli, P.; Bisson, L. F.: Imbalance of pH and Potassium Concentration as a Cause of Stuck Fermentation. *American Journal of Enology and Viticulture* 1998 , 49 , 295-301.
- Lück, E.: *Chemische Lebensmittelkonservierung* , 2 ed.; Springer: Berlin Heidelberg, 1985.
- Matissek, R.; Schnepel, F.-M.; Steiner, G.: *Lebensmittelanalytik* , 2 ed.; Springer-Verlag: Berlin, 1992.
- Otteneder, H.; Marx, R.: Ringversuch zur Bestimmung von glucose, Fructose, Glycerin und Ethanol in Wein mittels HPLC-Ionenaustauschchromatographie und RI-Detektion. *Die Weinwissenschaft* 1995 , 50 .
- Prior, B.: *Einfluß der Stickstoffversorgung auf die löslichen Aminosäuren in Organen von Vitis vinifera L. C. v. Riesling und auf die Qualität des Mostes und des Weines* ; Gesellschaft zur Förderung der Forschungsanstalt Geisenheim: Geisenheim, 1997.
- Rapp, A.; Versini, G.: Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds in wine. *Viticultural and Enological Sciences* 1996 , 51 , 193-203.
- Rauhut, D.; Kürbel, H.; Großmann, M.: Hefeernährung und Weinqualität. *Das Deutsche Weinmagazin* 1996a , 50 , 24-31.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donéche, B., Lonvaud, A.: *Traité d'Oenologie Tome 1. Microbiologie du vin, Vinification*. Verlag Dunod, Paris, 1998.
- Ritter, G.: *4. Intern. Symposium Innovation in der Kellerwirtschaft, Stuttgart* ; Forschungsring Deutscher Weinbau / Deutscher Weinbauverband, p 212-220.

-
- Sablayrolles, J. M.: Sluggish and Stuck Fermentations. Effectiveness of Ammonium-Nitrogen and oxygen Additons. *Viticultural and Enological Sciences* 1996 , 51 , 147-151.
- Schneider, V.: Trockene Weine - Förderung der Endvergärung. *Deutsche Winzer Zeitung* 1999, (9) 22-25.
- Schneider, V.: Ursachen und Behebung von Gärstörungen, *Deutsche Winzer Zeitung*, 1995, (9) 28-31 und (10) 18-22.
- Svedas, V. K.; Galev, I. J.; Borisov, I. L.; Berezing, I. V.: The interaction of amino acids with ophthaldialdehyd: a kinetic study ans spectrophotometric assay of the reaction product. *Analytical Biochemistry* 1980 , 101 , 188-195.
- Trioli, G.: Effect of Fermaid addition to white grape juice on the behavior of several commercial yeast strains. *Viticultural and Enological Sciences* 1996 , 51 , 204-209.
- Würdig, G.; Woller (Hrsg.), R.: *Chemie des Weines* ; Ulmer: Stuttgart, 1989.

10 Danksagung

Der Ausschuss für Technik im Weinbau ermöglichte durch die Finanzierung des vorliegenden Forschungsvorhabens einen tieferen Einblick in die Ursachen von Gärstörungen, die in der kellerwirtschaftlichen Beratung zur Lösung von Gärproblemen beitragen werden.

Die Weingüter Biffar, Bumb, Dr. Deinhard, Geheimrat Dr. von Bassermann-Jordan, Messmer, Mosbacher, Müller-Catoir, Pfeffingen, Ökonomierat Rebholz, Reichsrat von Buhl, Schaefer, Staatsweingut mit Johannitergut, Weik, Wegner und Wilker trugen mit ihrer Bereitschaft zur fruchtbaren Zusammenarbeit erheblich zum Gelingen dieses Forschungsprojektes bei.

Herrn Friedrich vom Institut für Oenologie und Kellerwirtschaft der SLVA Trier und Herrn Albert Linsenmeier aus dem Fachgebiet Bodenkunde und Pflanzenernährung der Forschungsanstalt Geisenheim gilt ein herzliches Dankeschön für die Durchführung der Aminosäureanalytik.

Die Firmen Begerow und Erbslöh stellten kostenlos Hefen, kellerwirtschaftliche Hilfsstoffe und den Geisenheimer Stickstofftest zur Verfügung.

Frau Schubert, Frau Schumacher, Herrn Lauria und Herrn Schäfer sei für die Bearbeitung der zahlreichen Proben gedankt, ebenso wie Herrn Weik für kollegiale Hilfestellungen und kritische Durchsicht des Manuskripts.

11 Anhang

11.1 Anhang 1 Fragebogen zur Erfassung relevanter Parameter zur Erklärung von Gärstörungen

FRAGEBOGEN ZUM AUFTRETEN VON GÄRSTÖRUNGEN	Nummer 1
--	-----------------

Jahrgang 1995, 1996, 1997

Betrieb: Weingut 1 - 15

Weinbergslage:

Rebsorte:

Unterlage:

Faktoren im Weinberg:

Maß der Trockenschäden schwach mittel stark

Stickstoffversorgung Düngergabe von kg Rein-N

Humusgehalt schwach mittel hoch

Dauerbegrünung offen Jede 2. Zeile ganz

Unterstockbereich offen

Abschluss-Spritzung Termin:

kupferhaltige Mittel Ja Nein

Euparen/Folicur Ja Nein

Aktuan Ja Nein

Topas/Bayfidan Ja Nein

Botrytizide Welche:

Botrytisbefall gering mittel (<30%) stark (>30%)

Sekundärpilzbefall gering mittel (<30%) stark (>30%)

Stiellähme gering mittel (<30%) stark (>30%)

Erntedatum 1997

Erntemengekg/ha

Erntetechnik Vollernter Handlese selektive Handlese

Mostgewicht°Oe

Mostsäureg/l

Maischebehandlung:

Entrappung Ja Nein Vollernter

Ganztraubenpressung Ja Nein

Mechanische Maischebelastung gering mittel hoch

Sauerstoffaufnahme im Most gering mittel hoch

Maischestandzeit Nein Ja ⇨ Stunden

- Schwefelung der Maische Nein Ja ⇨ mg / kg Maische
 Schwefelung des Mostes Nein Ja ⇨ mg / l Most
 Absitzenlassen Nein Ja ⇨ Stunden
 Separation Nein Ja ⇨ l / Stunde
 Hefefilter / Drehfilter Nein Ja ⇨ % der Partie
 Hilfsmittel Bentonit Nein Ja ⇨ g / 1000 l Most
 Mostgelatine Nein Ja ⇨ g / 1000 l Most
 Kohle Nein Ja ⇨ g / 1000 l Most
 Zugabe von oberflächen- Nein Ja ⇨ g / 1000 l Most
 vergrößernde Mittel Kieselgur Heferinden
 Cellulose Perlite

Probennahme	MOSTSTADIUM	M 1
-------------	-------------	-----

- | | | |
|-----------------------|---|-------------------------|
| Zugabe von Vitamin B1 | <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja | ⇨ g / 1000 l Most |
| Zugabe von Gär Salz | <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja | ⇨ g / 1000 l Most |

Gärführung:

- Größe des Gärgebundes l
 Spontangärung Ja Nein
 Überimpfung aus Gärgebunde Ja Nein
 Reinzuchthefer Ja Nein
 Handelspräparat
 Einsaatmenge g / 1000 l
 Starttemperatur °C
 Beginn der HauptgärungTage nach Einlagerung ins Gärgebunde
 Gärintensität in Hauptgärung schwach mittel stark

Vorzeitige Gärverlangsamung

- am 1997
 bei g Restzucker
 °C Gärtemperatur

Probennahme	FRÜHZEITIGE GÄRVERLANGSAMUNG	GV 1
-------------	------------------------------	------

Vorzeitiger Gärstop

- am 1997
 bei g Restzucker °C Gärtemperatur

Probennahme FRÜHZEITIGER GÄRSTOP GS 1 + GS (Hefe) 1
Maßnahmen zur Gärförderung nach vorzeitiger Gärverlangsamung

 Rühren am **1997**mal pro Tag anTagen

 Erfolg der Maßnahme keiner Abnahme auf g Restzucker

 Temperierung am **1997** von.....°C auf°C

 Erfolg der Maßnahme keiner Abnahme auf g Restzucker

Zugabe von oberflächenvergrößernden Mitteln

 am g / 1000 l Most Kieselgur Heferinden
 Cellulose Perlite

 Erfolg der Maßnahme keiner Abnahme auf g Restzucker

 Abstich der gärunfähigen Hefe Ja Nein

 neuer Ansatz am **1997** mitg/1000 l

 mit erfolgreichem Gäransatz Bayanus-Stamm Saccharomyces cerevisiae

Handelspräperat

 Erfolg der Maßnahme keiner Abnahme auf g Restzucker

 chemische Entsäuerung am **1997** von.....g/l auf.....g/l

 BSA am **1997** spontan eingeleitet

 Lüften am **1997**

 Bentonitschönung am **1997** mitg/1000 l

 Erfolg der Maßnahme keiner Abnahme auf g Restzucker

Definitives Gärende am 1997

.....g/l Restzucker

.....g/l Alkohol

.....g/l Säure pH

Weitere Auffälligkeiten bei der späteren Weinentwicklung

 (z.B. deutliches Gärbukett, hoher SO₂-Bedarf, untypischer Alterungston)

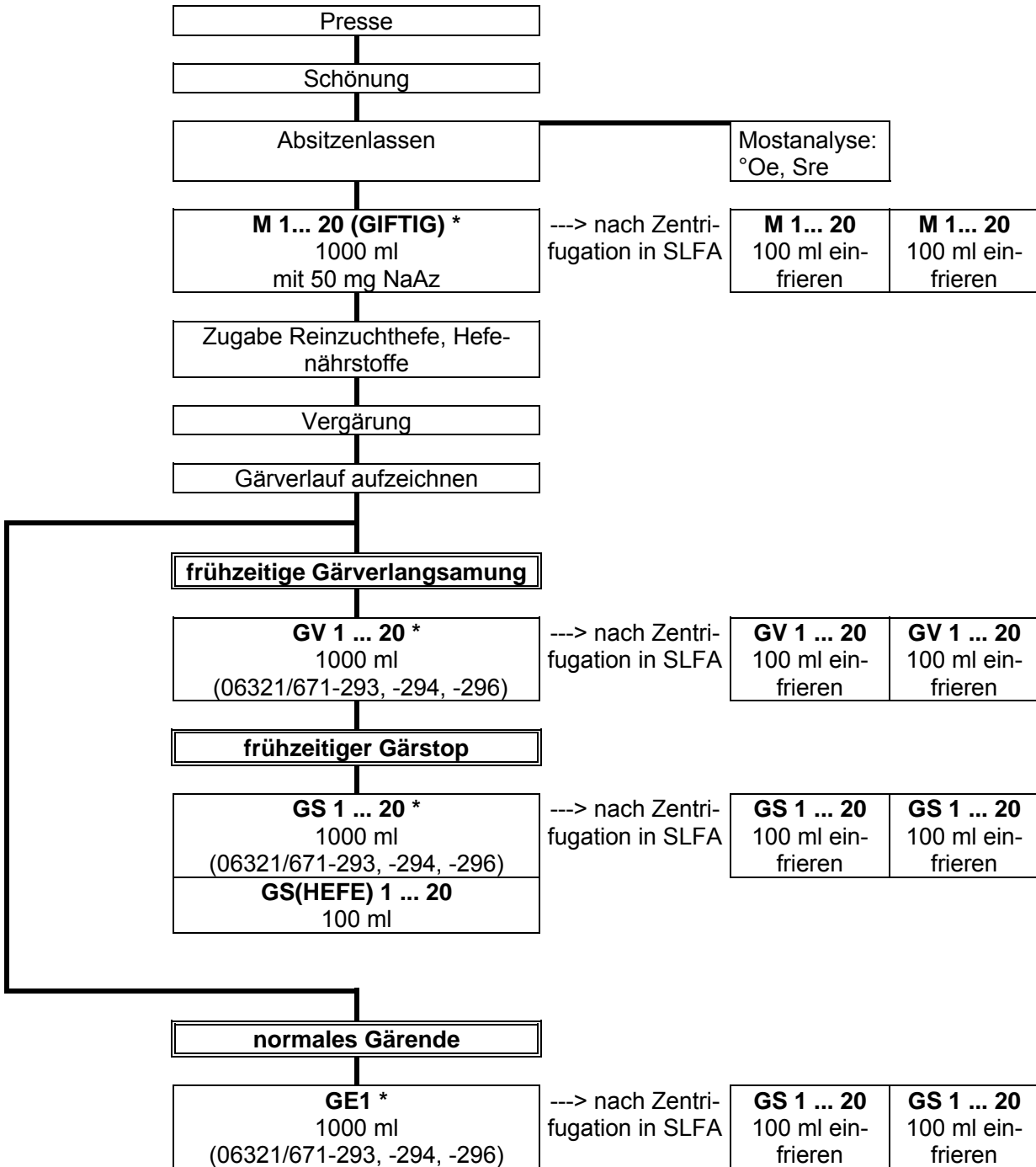
Probennahme	Gärende	GE 1
-------------	---------	------

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit

11.2 Anhang 2 Probenplan

Arbeitskreis Gärstörungen:

Probennahmenplan für den Herbst 1997



* Bitte Frau Schubert, Herr Lauria (06321-671 296), Herrn Weik (06321-671 293) oder Herrn Dr. Fischer (06321-671 294) benachrichtigen

11.3 Anhang 3 Kellerwirtschaftliche Parameter im Most

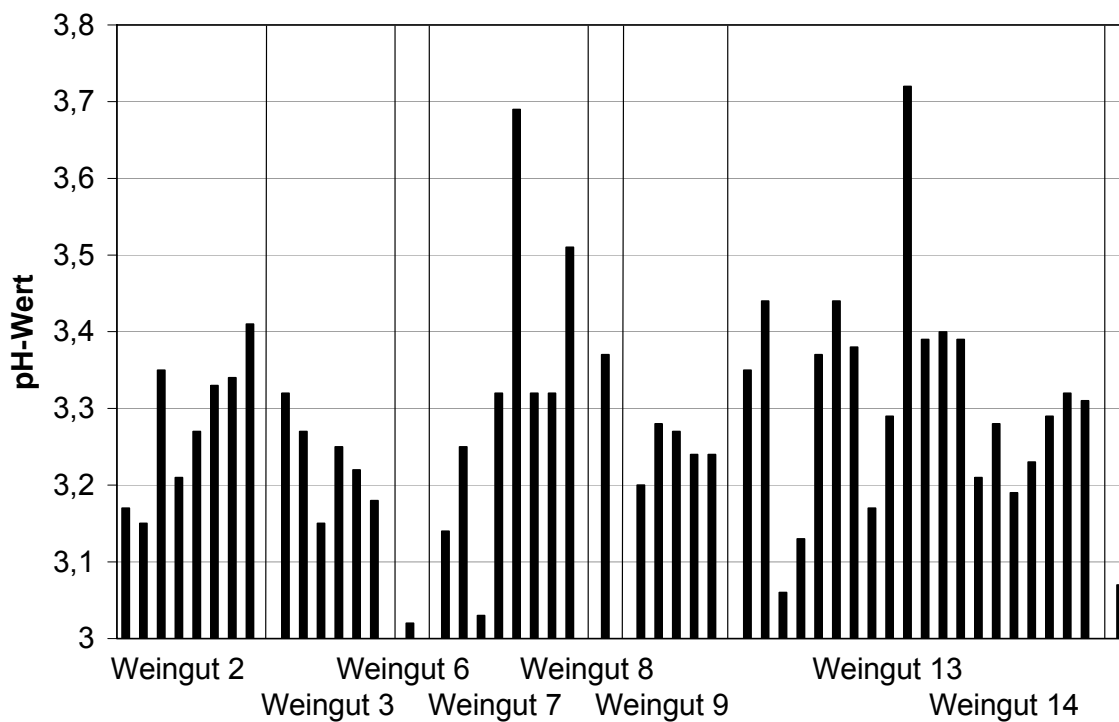


Abb. 47 pH-Werte gärfähiger Gebinde in 8 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1995

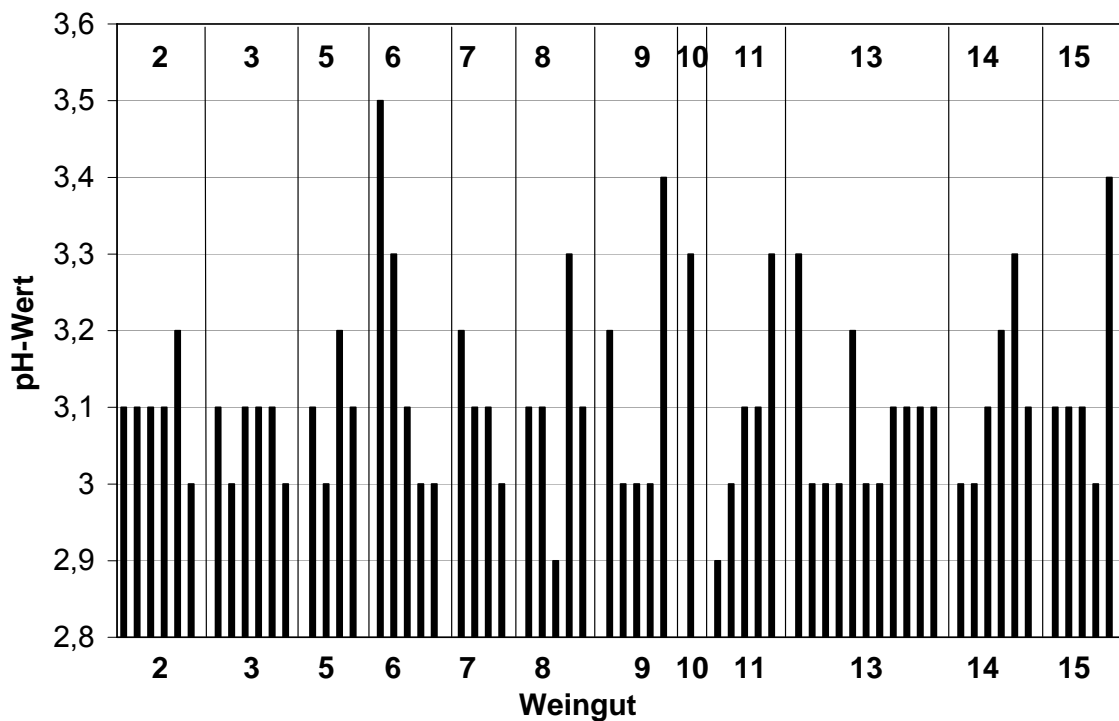


Abb. 48: pH-Werte gärfähiger Gebinde in 12 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1996

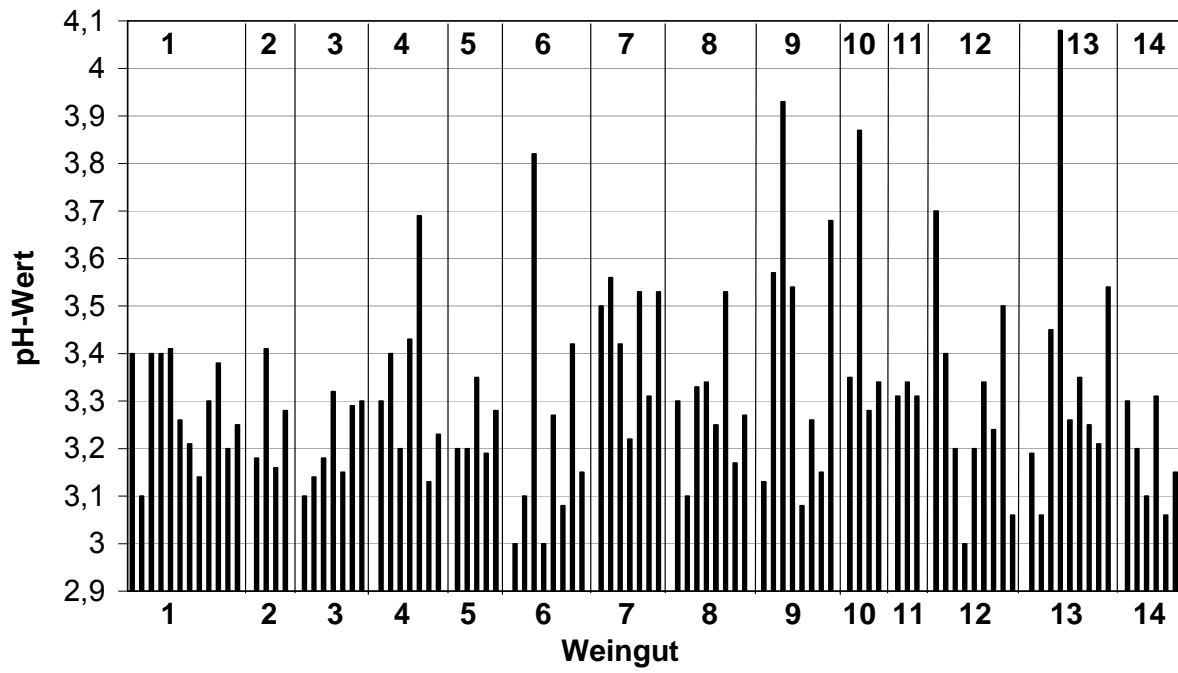


Abb. 49: pH-Werte gärfähiger Gebinde in 14 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1997

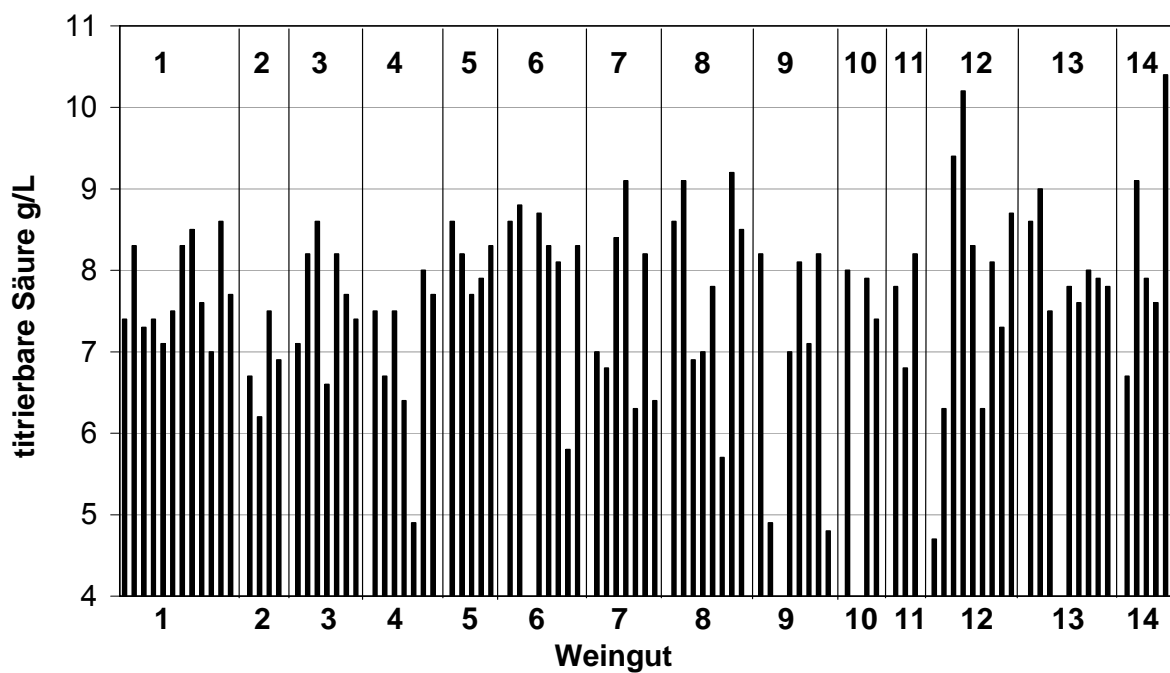


Abb. 50: Titrierbare Säure gärfähiger Gebinde in 12 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1996

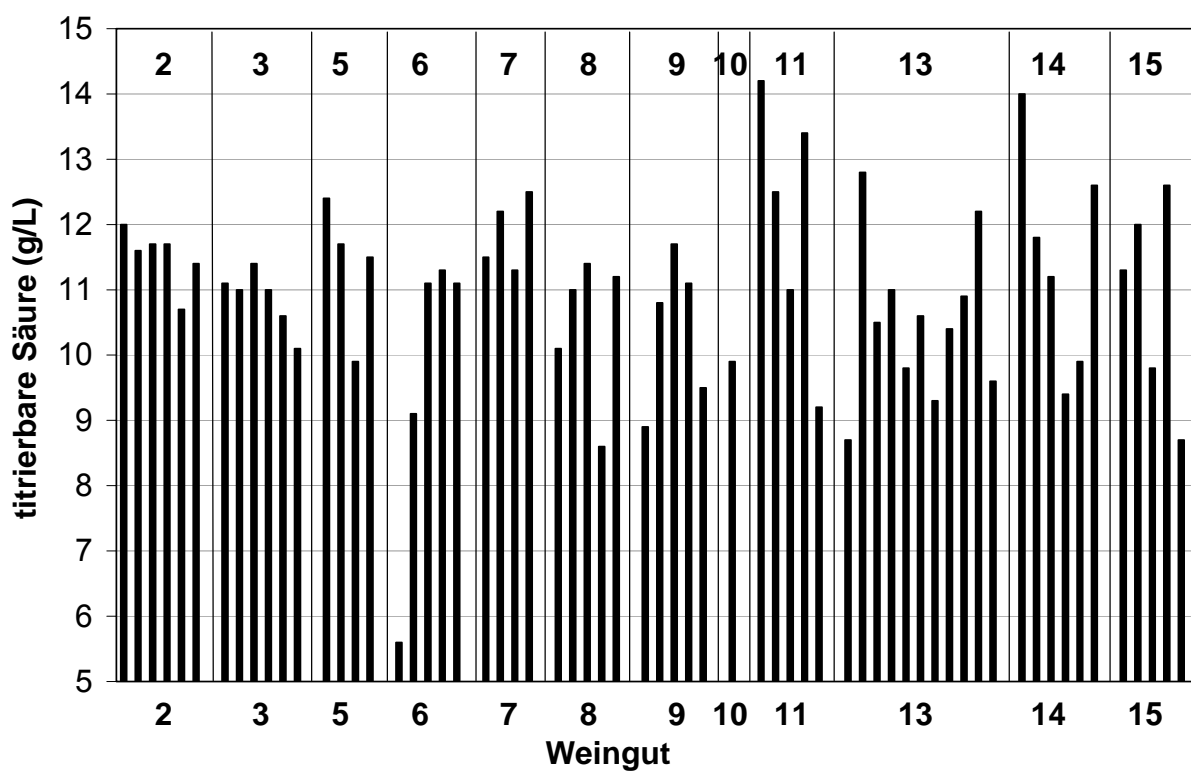


Abb. 51: Titrierbare Säure gärfähiger Gebinde in 14 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1997

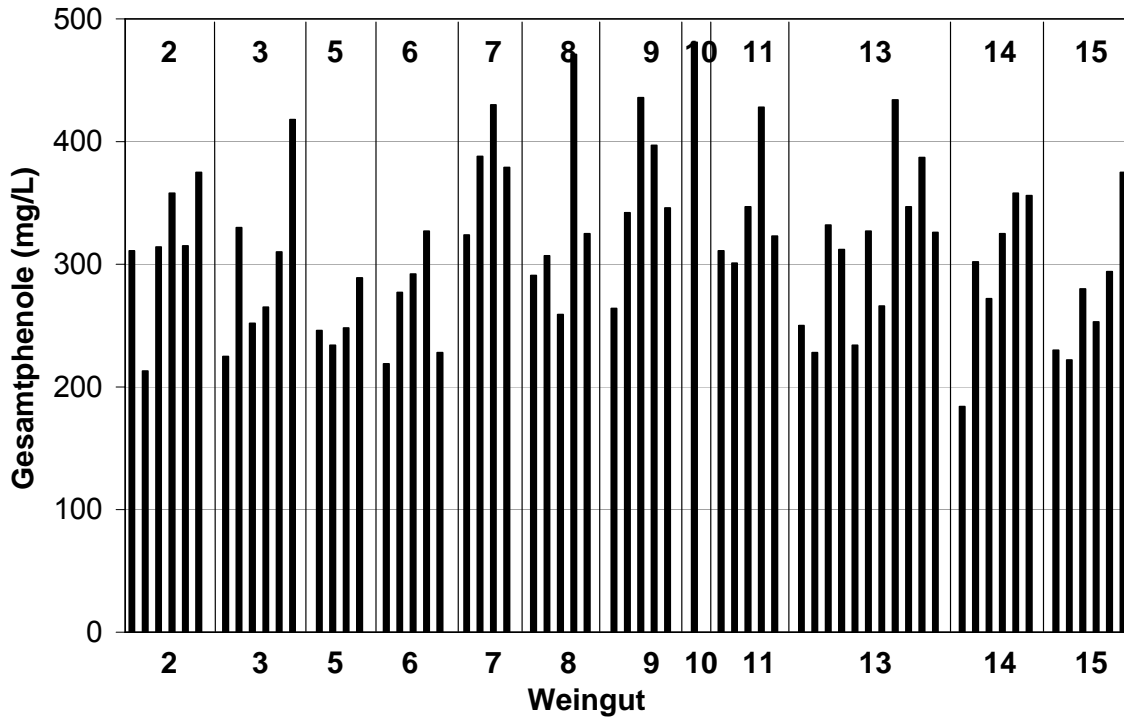


Abb. 52: Gesamtphenolgehalt nach Folin-Chioclteu gärfähiger Gebinde in 12 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1996

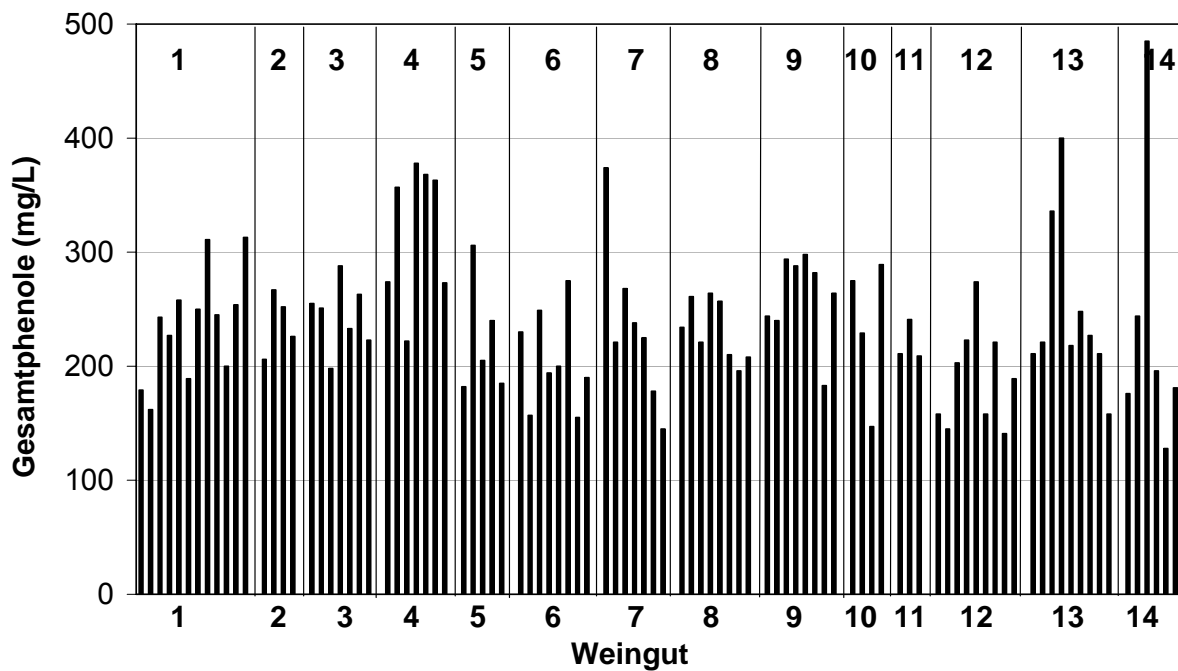


Abb. 53: Gesamtphenolgehalt nach Folin-Chioclteu gärfähiger Gebinde in 14 Weingütern der Pfalz im Jahrgang 1997

11.4 Anhang 4 Vorlage zur Aufzeichnung des Gärverlaufs

Kellerhilfsbuch

Weingut

Rebsorte			
Lage			
Lesedatum		Mostgewicht	°Oe
Herbstbuch Nr.		Mostsäure	g/l
Wein Nr.			

Mostbehandlung			
Anreicher. g/l Alk.		SO ₂	
kg Saccharose		Enzym	g/hl
Hefetyp		Vorklärung	Stunden
Hefemenge	g/hl	Entsäuerung	
Gärsalz	g/hl		

SO₂ Gaben			
Datum	mg/l	Datum	mg/l
Datum	mg/l	Datum	mg/l

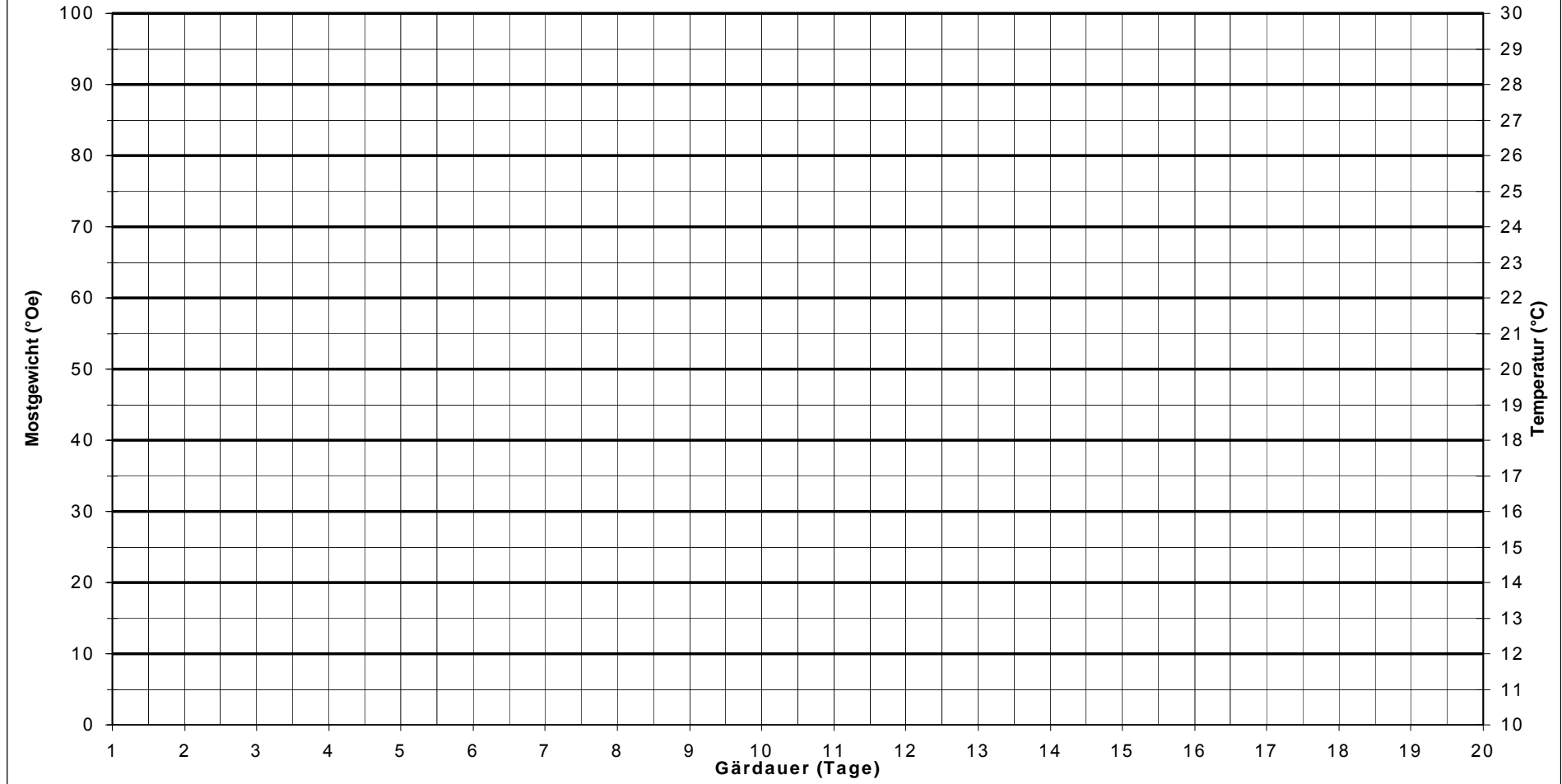
Behältnis/ Behandlung							
Dat .		Beh.Nr.		Liter		Behandlung	
Dat .		Beh.Nr.		Liter		Behandlung	
Dat .		Beh.Nr.		Liter		Behandlung	
Dat .		Beh.Nr.		Liter		Behandlung	
Dat .		Beh.Nr.		Liter		Behandlung	
Dat .		Beh.Nr.		Liter		Behandlung	

Analysen					
Datum	Gesamtsäure	freie SO ₂	Zucker	Alkohol	Sonst.
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	
	g/l	mg/l	g/l	g/l	

Bemerkungen:

Vorlage zu beziehen über eMail: bschandelmaier.slfa-nw@agrainfo.rpl.de

Tank:	Weinbez:		Sorte:		Lese:		°Oe:		GS:		pH:		Temp:		Behälter:					
Gärdauer	Lese	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
°Oe (vorm.)																				
°Oe (nachm.)																				
Temp °C (vorm.)																				
Temp °C (nachm.)																				



nach Dr. O. Schmidt zu bestellen als Datei per eMail unter: bschandelmaier.slfa-nw@agrainfo.rpl.de