

Die malolaktische Gärung

Abstract

Die in der Rotweinbereitung durchgeführte malolaktische Gärung kommt durch Milchsäurebakterien (v.a. *Oenococcus oeni*) zustande. Der Prozess führt zur Umwandlung von Äpfelsäure (Anion: Malat) zu Milchsäure (Anion: Laktat) und bringt im Idealfall eine Qualitätssteigerung mit sich.

Einleitung

In der Weinbereitung spielen Mikroorganismen eine Hauptrolle. Die wichtigsten Organismen sind sicherlich die Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*), welche mit der alkoholischen Gärung für die Umsetzung von Zucker (Glucose und Fructose) zu Ethanol sorgen. Vor allem bei Rotweinen wird aber noch eine zweite „Gärung“ durchgeführt, die malolaktische Gärung, auch biologischer Säureabbau (BSA) genannt. Durch diesen Prozess wird die aggressive Äpfelsäure (Dikarbonsäure) zur milderen Milchsäure (Monokarbonsäure) metabolisiert.

In dieser Arbeit soll der Vorgang des BSA genauer untersucht werden, insbesondere folgenden Punkten möchte ich genauer nachgehen:

- Warum wird ein BSA überhaupt durchgeführt?
- Welche Mikroorganismen sind beteiligt?
- Wie und wann kommen sie in den Traubensaft? (Frage nach dem Inokulum)
- Wie gestaltet sich der metabolische Prozess
- Wie wird die malolaktische Gärung überwacht?
- Wie unterbindet man sie, falls unerwünscht (z.B. bei Weissweinen)?

Vorgehen

Um die genannten Fragen zu beantworten wurde nach Literatur gesucht. Einerseits wurde im Internet recherchiert, andererseits vertraute ich in oenologischen Belangen vor allem auf die in Bibliotheken reichlich vorhandene Fachliteratur.

Es ist zu betonen, dass diese Arbeit nicht auf von mir selbst gewonnen Erkenntnissen aufbaut. Es wird lediglich eine grössere Zusammenfassung, möglichst vertrauensvoller Quellen, verfasst.

Ergebnisse

Warum BSA?

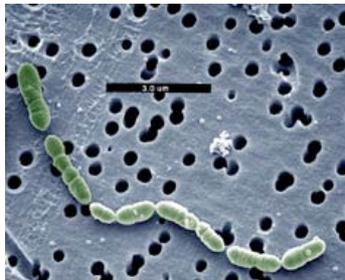
Am offensichtlichsten ist wohl das Argument, dass die Konsumenten keine säurebetonten Weine mögen. Nun gäbe es aber auch andere Methoden, um den Wein zu entsäuern (chemisch mit Calciumcarbonat oder Kaliumbicarbonat), warum also dem BSA den Vorzug geben? Im Traubensaft sind etliche Säuren vorhanden (z.B. Bernstein-, Zitronen-, Äpfel-, Weinsäure), vor allem Äpfelsäure ist reichlich vorhanden. Der Vorteil des BSA ist seine Spezifität. Durch ihn kann gezielt die aggressive Äpfelsäure in die viel mildere Milchsäure umgewandelt und die geschmacklich wertvolle Weinsäure geschont werden [1] [6]. Weitere Argumente sind:

Pro BSA:

- Die Weine haben eine erhöhte mikrobiologische Stabilität. In der Flasche ist kein unerwünschter Abbau mehr möglich (keine Trübungen).
- Vor allem Rotweine werden geschmacklich aufgewertet. Sie wirken voller und sind bekömmlicher.
- Durch den Abbau von schwefelbindenden Substanzen (Acetaldehyd, Ketoglutarensäure) während des BSA sinkt der Bedarf an schwefliger Säure.
- Die Weinbereitung ist ohne den Einsatz chemischer Entsäuerungsmittel möglich.

Kontra BSA:

- BSA ist kaum zu steuern. Er kann sich unter Umständen über Monate hinziehen. Während dieser langen Zeit können sich auch Essigbakterien entwickeln, die unangenehm riechende Essigsäure produzieren können.
- Bei vorhandenem Restzucker und leicht erhöhtem pH (>3.4) können ausser Milchsäure eine Vielzahl unerwünschter Substanzen gebildet werden (Essigsäure aus Zucker!).
- Gehören die Bakterien erst einmal zur Kellerflora, kann ein evt. unerwünschter BSA nur mit viel Aufwand verhindert werden.

Beteiligte Mikroorganismen

Für den BSA sind die Milchsäurebakterien verantwortlich. Zu den Milchsäurebakterien gehören gram-positive Stäbchen und Kokken, welche Milchsäure als hauptsächliches (oder auch einziges) Fermentationsprodukt ausstossen. Die Gruppe ist im Allgemeinen anaerob, viele Mitglieder sind aber auch aerotolerante Anaerobier (fakultativ anaerob). [3]

Abbildung 1: *Oenococcus oeni* [7]

Die Gruppe kann aufgrund ihres Zuckermetabolismus in zwei Untergruppen aufgeteilt werden: die Homofermentativen und die Heterofermentativen, wobei Erstere, dank einem Enzym (Aldolase), eine effizientere Energiegewinnung aufweisen und ausschliesslich zu Milchsäure metabolisieren. Die heterofermentativen Bakterien können neben Milchsäure auch noch zu CO₂, Ethanol, Essigsäure, Glycerol, Mannitol und einige andere Produkte bilden. [3] [4]

Das bevorzugte Bakterium ist *Oenococcus oeni* (ehemals *Leuconostoc oenos*), da es sich auch bei tiefem pH (bis 2.9) und erhöhtem Alkoholgehalt (bis 11% Vol/Vol problemlos) vermehren kann. Ausserdem führt es in Abwesenheit von Zucker zu keinen Weinfehlern und kann mit schwefliger Säure leicht unterdrückt werden. [2] [4]

Oenococcus oeni ist aber nicht das einzige Milchsäurebakterium im Wein.

Viele andere Arten können Weinfehler verursachen, die Spannweite der dabei auftretenden Fehler reicht von atypischen Aromen über Essigbildung bis zur Bildung von lindem Wein (ölige Konsistenz des Weines). Folgende Tabelle verschafft einen Überblick über die Vielfalt an Milchsäurebakterien im Wein:

Art / Gattung	Zuckermetabolismus	Bemerkungen
<i>Oenococcus oeni</i>	hetero-	erwünscht
<i>Pedicoccus</i>	homo-	unerwünscht
<i>Leuconostoc</i>	hetero-	unerwünscht
<i>Lactobacillus</i>	hetero- & homo-	manche unerwünscht (viel Essigsäure!), andere erwünscht
<i>Streptococcus</i>	homo-	unerwünscht

Tabelle 1: Auswahl einiger Milchsäurebakterien, aus [3] & [4]

Anmerkung: Die Umbenennung 1995 von *Leuconostoc oenos* zu *Oenococcus oeni* erfolgte aufgrund genetischer Untersuchungen der 16S und 23S rDNA, welche im Vergleich mit anderen *Leuconostoc* Arten relativ geringe Sequenzähnlichkeiten aufweist. [5]

Das Inokulum

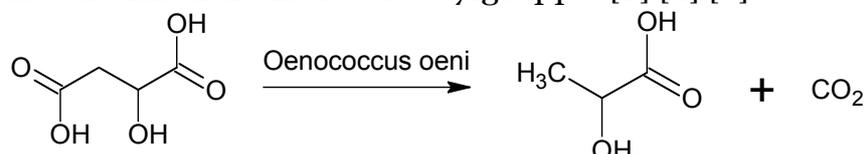
Zum BSA soll es einerseits erst nach der alkoholischen Gärung kommen, um die Umwandlung von Zucker durch die Milchsäurebakterien zu vermeiden, andererseits sollen sich möglichst bald die erwünschten Bakterien etablieren, um unerwünschte Stämme zu verdrängen. [1]

Die Bakterien gelangen über das Traubengut in den Most, ausserdem etabliert sich nach einigen Jahren eine kellerreigene Bakterienmikrobiota (es wird schliesslich nie sterilisiert) in den Gebinden (Tänke, Fässer). Um die Etablierung der Milchsäurebakterien zu unterstützen werden flankierende Massnahmen ergriffen:

- Zügige Gärführung (erreicht durch Erwärmung des Mostes)
- Abtrennen der abgestorbenen Hefe nach der Gärung (Hefe wirkt antioxidativ)
- Warmhaltung des Kellers (unter 15°C findet kaum ein BSA statt)
- Verzicht auf die schützende Schwefelung
- Beimpfen mit einem Wein im BSA („Starterkultur“)
- Seit 1991 ist auch das Beimpfen mit einer Reinzucht-Kultur erlaubt (teure Massnahme)

Die malolaktische Gärung

Während des BSA setzen Milchsäurebakterien L-Äpfelsäure zu Milchsäure um. Da Äpfelsäure zwei Carboxylgruppen aufweist wirkt sie doppelt so sauer wie die Milchsäure mit nur einer Carboxylgruppe. [1] [4] [5]



L-Äpfelsäure

D- oder L-Milchsäure

Dabei kommt es auf den Bakterienstamm an, welches Enantiomer (L- oder D-) gebildet wird. Anscheinend liegt industriell hergestellte Äpfelsäure als Racemat vor, dann kann nur der L-konformere Anteil zu Milchsäure umgesetzt werden [1] [4] (ob die Zugabe von Äpfelsäure legal ist steht auf einem anderen Blatt).

Leider ist es mir nicht gelungen eine mir verständliche Quelle zu finden, welche den Mechanismus der malolaktischen Gärung im Detail beschreibt. Dennoch gehe ich davon aus, dass es sich um einen gut erforschten Prozess handelt, da man im Internet etliche Arbeiten über die Milchsäurebakterien findet.

Auf folgender Abbildung [2] werden zwei mögliche Reaktionswege (Redox-Reaktionen) mit ihren Zwischenprodukten gezeigt. Nach meinem Verständnis, ist der fragliche Mechanismus in der Mitte (mit einem Fragezeichen versehen) dargestellt. Leider lag die Darstellung ohne erklärende Legende vor. Evident ist einzig, dass ein spezielles Enzym von zentraler Bedeutung ist.

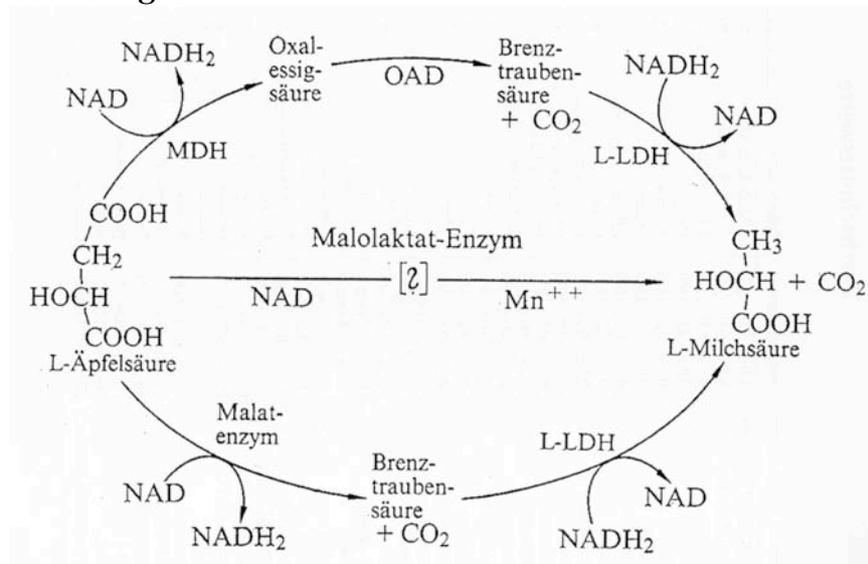


Abbildung 2: Die malolaktischen Gärungswege [2]

MDH = Malat-Dehydrogenase, OAD = Oxalacetat-Dekarboxylase, LDH = Laktat-Dehydrogenase
NAD⁺ und NADH₂ (richtig NADH+H⁺) sind die oxidierte bzw. reduzierte Form von Nikotinamidadenindinukleotid, einem Elektronen-Übertragenden Coenzyme der angegebenen Enzyme

Überwachung des BSA

Der BSA wird nicht (wie von mir angenommen) über die Zellzahl der Milchsäurebakterien verfolgt. Vielmehr werden das Stoffwechsel Edukt und die Produkte beobachtet. Dazu werden im Verlauf des BSA einige Dünnschichtchromatogramme angefertigt. Als Laufmittel wird Isopropanol benutzt. Auf einem ersten DC werden zwei Flecken sichtbar: Wein- und Äpfelsäure. Im Verlaufe des BSA wird der Äpfelsäurefleck immer kleiner, dafür entsteht ein immer grösserer Fleck welcher die Milchsäure anzeigt. Ist keine Äpfelsäure mehr vorhanden, kann der BSA als abgeschlossen betrachtet werden. [1]

Abschluss/ Unterdrückung der malolaktischen Gärung

In der Weinbereitung wird zur mikrobiellen Stabilisierung schweflige Säure (H_2SO_3) benutzt. Da bei hohen Alkoholgehalten ohnehin *Oenococcus oeni* dominiert reicht eine verhältnismässig geringe Gabe an schwefliger Säure. Genannt werden dabei Mengen um die 20 bis 30 mg/l freier, bzw. ca. 100 mg/l gesamter schwefliger Säure, um die Milchsäurebakterien zu unterdrücken. Liegt das pH des Weines deutlich über 3.6, wird eine grössere Gabe erforderlich, da sich in diesem Milieu etliche Stämme etablieren können.

Soll bei einem Wein keine malolaktische Gärung stattfinden, so schwefelt man den Wein gleich nach der alkoholischen Gärung mit einer etwas grösseren Gabe und kühlt den Wein ab, auch kann man ihn noch etwas auf der Hefe liegen lassen (typisch beim Chasselas). [1] [4]

Diskussion

Im Nachhinein betrachtet, wollte ich wohl zu viele Themen verfolgen. Der Recherche zum Mechanismus der malolaktischen Gärung hätte mehr Zeit eingeräumt werden müssen, dann hätte eine Arbeit nur zu diesem einen Punkt verfasst werden können.

Über den Weinbau und die Weinbereitung findet man im Internet eine unglaubliche Anzahl an Artikeln. Das Problem ist vielmehr, zu entscheiden welchem Autor man vertraut und welche Arbeiten man auch benutzen kann. Es sind einige Doktorarbeiten über die genannten Mikroorganismen zu finden, gebrauchen konnte ich sie nicht, viel zu sehr werden dort kleinste Aspekte eines Organismus behandelt (einzelne Enzyme).

Meine Neugier konnte ich dennoch befriedigen, fand ich doch zu den gestellten Fragen einige Antworten. Allein die Frage nach dem Stoffwechsel muss als ungenügend geklärt angeschaut werden.

Quellen

Bücher:

[1] L. Jakob, 1997, „Der Wein“: 79 - 82

[2] Würdig / Woller, 1989, „Chemie des Weines“ (**Abb. 2**)

[3] Madigan / Matinko, 2006, „Brock Biology of Microorganisms“: 375 - 377

Internetseiten:

[4] Ben Rotter, 2006, „Improved Winemaking“,

<http://www.brsquared.org/wine/Articles/MLF/MLF.htm> (Oenologische Sicht)

[5] L.M.T. Dicks u.a., 1995, “Proposal To Reclassify *Leuconostoc oenos* as *Oenococcus oeni*”, <http://ijs.sgmjournals.org/cgi/reprint/45/2/395>

[6] Thomas Henick-Kling, 2005,

http://www.nysaes.cornell.edu/fst/faculty/acree/fs430/notes_thk/thk26mlf.html
(Übersicht BSA)

[7] N.A., 2004, http://genome.jgi-psf.org/draft_microbes/oenoe/oenoe.home.html
(Verwandschaft *O. oeni*) (**Abb.1**)