

DIE NEUE BREHM-BÜCHEREI

279

Die Hefen

2., unveränderte Auflage
Nachdruck der 1. Auflage von 1961

Dr. Gunther Müller

Mit 64 Abbildungen

Umschlagbild:

Links: Riesenkolonie einer „Schimmelhefe“ auf künstlichem Nährboden

Rechts: Drei Kolonien von *Aspergillus niger* van Tieghem auf künstlichem Nährboden

Aufnahmen: Institut für Mikrobiologie der Humboldt-Universität, Berlin

2., unveränderte Auflage

Nachdruck der 1. Auflage von 1961

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere die der fotomechanischen Vervielfältigung oder Übernahme in elektronische Medien, auch auszugsweise.

© 2011 Westarp Wissenschaften-Verlagsgesellschaft mbH, Hohenwarsleben
<http://www.westarp.de>

Gesamtherstellung: Westarp, Hohenwarsleben

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Was sind Hefen?	3
Der Bau und die chemische Zusammensetzung der Hefezellen	7
Die Zellwand	8
Das Zellplasma (Zytoplasma)	9
Der Zellkern	11
Die Vermehrung der Hefen	12
Sprossung	12
Pseudomyzelbildung	15
Myzelbildung	17
Spalthefen	18
Ascosporenbildung	18
Vorkommen und Verbreitung der Hefen	21
Hefen als Krankheitserreger	24
Die Nährstoffe der Hefen	26
Die Kulturhefen und ihre wirtschaftliche Bedeutung	29
Die Geschichte der Kulturhefen	29
Die alkoholische Gärung	31
Die Gärungsprodukte der Hefen	38
a) Wein	40
b) Bier	42
c) Spirituosen	47
d) Andere alkoholische Getränke	48
e) Äthylalkohol	49
f) Glycerin	49
g) Fuselöl	49
Die Nähr- und Futterhefen	51
Die Bäckerhefe	57
Die Systematik der Hefen	60
System	61
Die Identifizierung von Hefen	69
Die Genetik der Hefen	73
Hefen und Vitamine	79
Nachwort	82
Erklärung der Fachausdrücke	83
Literaturverzeichnis	87
Bildnachweis	88
Sachwortverzeichnis	88

Einleitung

Zu den beiden bekannten Gebieten der Biologie, der Zoologie und der Botanik, hat sich in jüngster Zeit ein dritter Wissenszweig immer mehr zur Selbständigkeit entwickelt: die Mikrobiologie. „Mikros“ heißt klein, und die Mikrobiologie ist demnach die Lehre von den kleinsten, den mit bloßem Auge unsichtbaren Lebewesen. Man nennt sie Mikroorganismen oder auch einfach Mikroben.

Wenn hier von „klein“ die Rede ist, so bezieht sich das nur auf die Größe, keinesfalls auf die Bedeutung der Mikroorganismen. Dies wird sofort deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß im Mittelalter nahezu ganze Städte durch krankheitserregende Mikroben, vor allem Bakterien, entvölkert wurden. Aber mit diesen Geißeln der Menschheit wollen wir uns im folgenden nicht beschäftigen.

Zu den Mikroorganismen gehören nicht nur Krankheitserreger, sondern auch nützliche Helfer des Menschen. Bei der Herstellung von Brot, Wein, Bier, Käse und anderen Nahrungs- und Genußmitteln spielt eine Gruppe von Mikroorganismen eine große Rolle: die Hefen. Bäckerhefe ist jedem bekannt, aber für den Fachmann ist das bei weitem nicht die einzige Hefeart. Wie man unter den Speisepilzen Pfifferling, Steinpilz, Champignon, Trüffel, Morchel und viele andere Pilzarten voneinander unterscheidet, so unterscheidet der Mikrobiologe auch verschiedene Hefearten. Er spricht deshalb nicht von Hefe, sondern von Hefen.

Was sind Hefen?

Wer auf diese Frage eine kurze, klare Antwort erwartet, den müssen wir leider enttäuschen. Die klassische Formulierung, nach der man als Hefen einzellige, von Chlorophyll freie Mikroorganismen bezeichnet, die sich durch Sprossung vermehren und die durch Gärung Zucker in Alkohol und Kohlendioxyd umwandeln, gilt nach dem heutigen Stand der Wissenschaft wenigstens teilweise als über-

holt. Wohl zählt nach wie vor die Vermehrung durch Sprossung als ein Hauptkennzeichen der Hefen, doch rechnet man auch eine Gruppe von Pilzen dazu, die sich wie die Bakterien durch Spaltung vermehren. Andere Hefeorganismen können sich sowohl durch Sprossung als auch durch Myzelbildung vermehren. Hinsichtlich der Gärung ist festzustellen, daß bei weitem nicht alle Hefeorganismen — man unterscheidet gegenwärtig etwa 500 verschiedene Arten — zur Alkoholbildung fähig sind.

Die Gruppe der Hefen umfaßt demnach eine Reihe von Mikroorganismen verschiedener Herkunft. Sie ist nicht eindeutig gegenüber anderen Mikroorganismengruppen abgegrenzt. Über ihre Abstammung herrscht noch keine endgültige Klarheit. Es ist anzunehmen, daß die Hefen primitive Formen der Schlauchpilze (Ascomyzeten) sind. Von einer bestimmten Gruppe können sie jedoch nicht abgeleitet werden.

Das Wort „Hefe“ selbst hängt offensichtlich eng mit den Gärungsvorgängen und dem auf jeder gärenden Flüssigkeit sich erhebenden Schaum zusammen. Das mittelhochdeutsche „heffe“ bedeutet wohl soviel wie „heben“, dem der holländische Ausdruck „heffen“ gleichkommt. Auch die französische Bezeichnung für Hefe „levure“ deutet auf die gleiche Eigenschaft hin, denn „lever“ heißt soviel wie aufgehen, erheben. In der englischen Sprache heißt Hefe „yeast“, in der holländischen „gist“, und auch diese Bezeichnungen bedeuten soviel wie Schaum. Das deutsche Wort „Gischt“ drängt sich in diesem Zusammenhang förmlich auf. Als man gelernt hatte, daß die hebende Kraft der Gärung offensichtlich im Bodensatz der gärenden Flüssigkeit enthalten war, wurde die Bezeichnung „heffe“ (Hefe) wahrscheinlich auf diesen übertragen. Th. Schwann und C. Cagniard-Latour entdeckten dann im 19. Jahrhundert, daß der Bodensatz aus lebenden ovalen oder runden Zellen besteht, die sich vermehren können.

Vor diesen beiden Forschern hatte bereits der Holländer Antonie van Leeuwenhoek Hefezellen mit selbstgebastelten Mikroskopen beobachtet. Er berichtete darüber 1680 in einem Brief der Royal Society zu London.

Inzwischen haben zahlreiche Forscher in Laboratorien der ganzen Welt die Geheimnisse der Hefen gelüftet. Würde man sämtliche dar-



Abb. 1. (Antonie van Leeuwenhoek (1632 bis 1723).

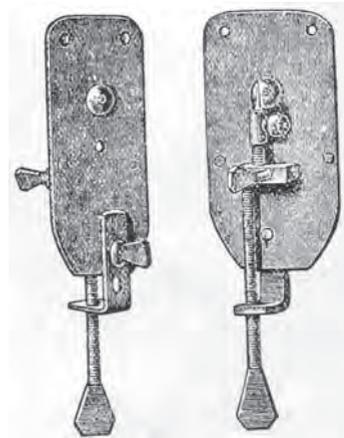


Abb. 2. Selbstgebautes Mikroskop, mit dem A. van Leeuwenhoek die ersten Beobachtungen von Mikroorganismen durchführte.
Links Vorderseite, rechts Rückseite.

über erschienenen Arbeiten zusammentragen, so könnte man damit eine eigene Bibliothek füllen.

Besondere Fortschritte wurden bei der Erforschung der Hefen sowie der Mikroorganismen überhaupt durch die Vervollkommnung und Weiterentwicklung der Technik erzielt. Die Schaffung von lei-

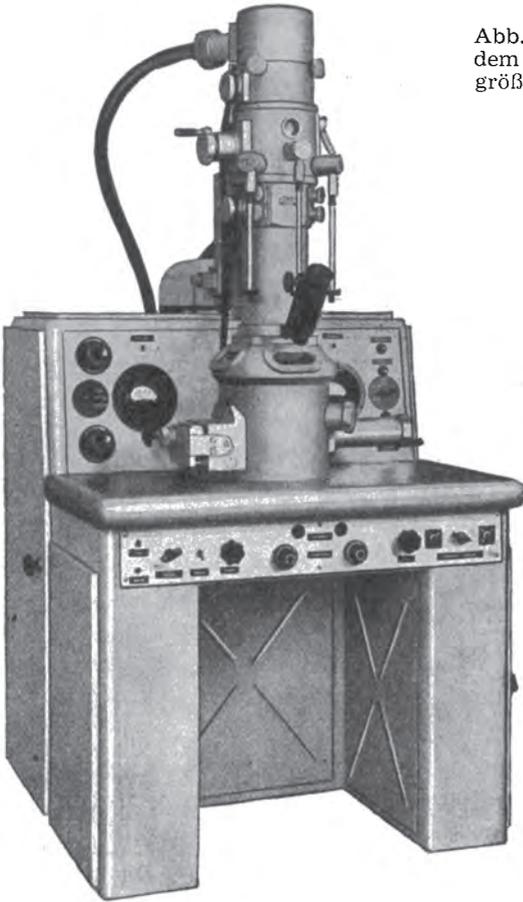


Abb. 3. Elektronenmikroskop mit dem 100 000fache und stärkere Vergrößerungen erreicht werden.

stungsfähigen Lichtmikroskopen und später von Elektronenmikroskopen ermöglichten einen Einblick in den Feinbau der Mikroorganismenzelle und damit auch der Hefezelle.

Wie weit die Technik bereits fortgeschritten ist, kann uns am besten ein Größenvergleich veranschaulichen. Ein Menschenhaar hat etwa einen Durchmesser von 70μ (sprich My), das sind $0,070 \text{ mm}$. Eine Hefezelle hat dagegen nur einen Durchmesser von etwa $3 \text{ bis } 5 \mu$ und ist etwa $5 \text{ bis } 7 \mu$ lang. Gegenwärtig ist man bereits in der Lage, von diesen winzigen Hefezellen mit Hilfe besonderer Methoden sogenannte „Ultradünnschnitte“ herzustellen.

Der Bau und die chemische Zusammensetzung der Hefezellen

Betrachtet man etwas Bäckerhefe unter dem Mikroskop, so sieht man zahlreiche kugel- oder eiförmige Zellen. Es gibt andere Hefearten, deren Zellen entweder spindelförmig, wurstförmig oder auch zitronenförmig aussehen.

Die Zellen liegen entweder einzeln oder es hängen mehrere in einem lockeren Zellverband zusammen. Der Zusammenschluß vieler Zellen zu höher organisierten Kolonien oder zu unteilbaren mehrzelligen Lebewesen mit weitgehender Arbeitsteilung zwischen den einzelnen Zellen, wie er bei den höheren Pflanzen üblich ist, kommt bei den Hefen nicht vor. Jede Hefezelle stellt ein völlig selbständiges Hefeindividuum dar und ist für sich allein lebensfähig. Dementsprechend muß jede Hefezelle auch alle Leistungen vollbringen können, die wir unter dem Begriff „Leben“ verstehen. Sie muß die notwendige Nahrung aufnehmen und verarbeiten, um daraus ihren Körper aufzubauen oder Energie zu gewinnen für andere Lebenspro-

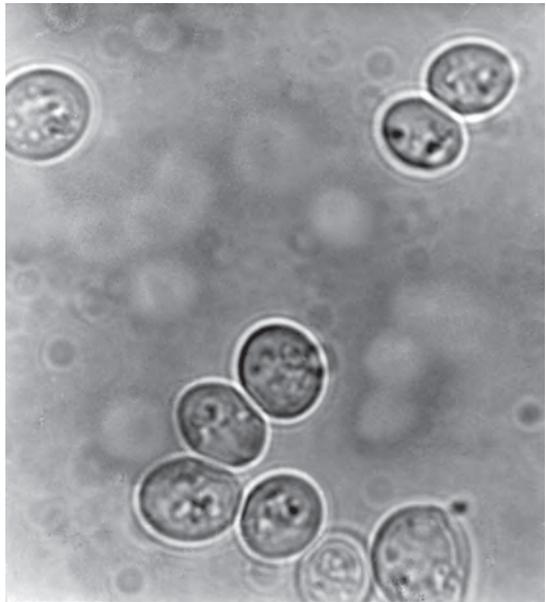


Abb. 4. Bäckerhefe unter dem Mikroskop.

zesse, wie z. B. die Vermehrung oder die Ausscheidung von giftigen Stoffwechselprodukten. Um all diese komplizierten Lebensleistungen vollbringen zu können, ist die Hefezelle entsprechend zweckmäßig gebaut. Sie besteht wie die Pflanzenzelle im wesentlichen aus drei Bestandteilen: Zellplasma, Zellkern und Zellwand.

Die Zellwand

Sie umschließt das Zellplasma und bildet den äußeren Abschluß jeder Hefezelle, sie bestimmt die Gestalt. Bei jungen Zellen, die gewöhnlich noch klein sind, ist die Zellwand als dünne Membran ausgebildet. Mit zunehmendem Alter verdickt sie sich und ist unter dem Mikroskop deutlich erkennbar. Nach außen kann sie außerdem von einer Schleimschicht umgeben sein. Sehr alte Zellen, die durch besonders dicke Zellwände widerstandsfähig sind, nennt man Dauerzellen.

Durch die Zellwand kann die Hefezelle die notwendige Nahrung direkt aus ihrer Umgebung aufnehmen. Sie besitzt Poren, durch die die gelösten Nahrungsstoffe eindringen können. Ein besonderer Zellmund, wie er bei zahlreichen anderen einzelligen Lebewesen ausgebildet ist, ist bei den Hefen nicht vorhanden. Einen Zellafter gibt es ebenfalls nicht. Aus diesem Grunde können von der Hefezelle nur kleine, niedermolekulare gelöste Stoffe aufgenommen und ausgeschieden werden.

Über die chemische Zusammensetzung der Hefezellwand ist bisher nur wenig bekannt. Im wesentlichen besteht sie wohl aus „Pilz-

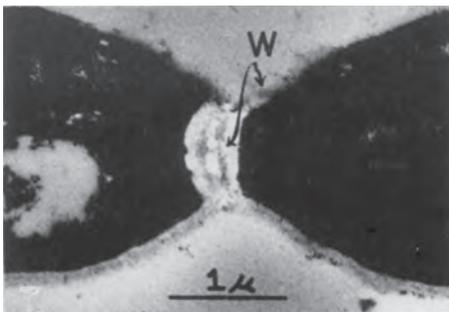


Abb. 5. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Hefezellwand (W).

zellulose“ (Hemizellulose) und dem sogenannten „Hefegummi“, beides Substanzen, die chemisch mit der Zellulose eng verwandt sind. Echte Zellulose, die bei den höheren Pflanzen den wesentlichen Baustoff der Zellwände liefert, kommt bei den Hefen nicht vor. Während man früher annahm, daß Eiweiß in der Zellwand nicht enthalten sei, hat man neuerdings Stickstoff, einen wesentlichen Baustein des Eiweißes, nachweisen können. Möglicherweise stammt der Stickstoff aus dem Chitin, das sowohl bei Hefen als auch bei Schimmelpilzen und Speisepilzen vorkommt. Außer bei Mikroorganismen wird Chitin vor allem in dem stabilen Panzer der Insekten gefunden. Eigenartigerweise sollen Kulturhefen kein Chitin enthalten.

Das Zellplasma (Zytoplasma)

Es ist bei jungen Zellen noch eine einheitliche, schwach lichtbrechende Substanz. In alten Zellen sind stärker lichtbrechende Körperchen, die Granula, zu finden. Das Zellplasma besteht vorwiegend aus Eiweißen und dem Zellsaft, in dem Salze und organische Substanzen gelöst sind. Bei älteren Zellen sind in dem Zellplasma ein oder mehrere helle, runde Gebilde, die „Vakuolen“ eingelagert. Vakuolen nennt man sie deshalb, weil man früher annahm, daß es sich um leere Räume handelt. Inzwischen hat sich herausgestellt, daß in den Vakuolen wichtige Reservestoffe gelagert werden. Einer dieser Reservestoffe ist das Volutin, das in Form der metachromatischen Granula gefunden wird. Es besteht aus einer Nukleinsäureverbindung und enthält neben Stickstoff auch den wichtigen Phosphor.

Neben dem Volutin werden in der Hefezelle zahlreiche andere Stoffe gespeichert. Im Mikroskop sind sie besonders bei älteren Zellen als Granula oder stärker lichtbrechende Tröpfchen zu erkennen und können mit besonderen Färbemethoden deutlich sichtbar gemacht werden. Ein wichtiger Reservestoff der Hefen ist das Glykogen, ein Kohlehydrat. Glykogen, das auch bei dem Menschen und bei Tieren in der Leber gespeichert wird, ist chemisch mit der Stärke verwandt. Es hat die gleiche Summenformel $(C_6H_{10}O_5)_x$ und wird ebenfalls aus Zuckermolekülen aufgebaut. In der Trockenmasse der Hefezellen ist Glykogen etwa zu 30% enthalten. Der chemische Nachweis gelingt mit Jod-Jodkalium-Lösung, wobei es eine rotbraune Farbe annimmt.

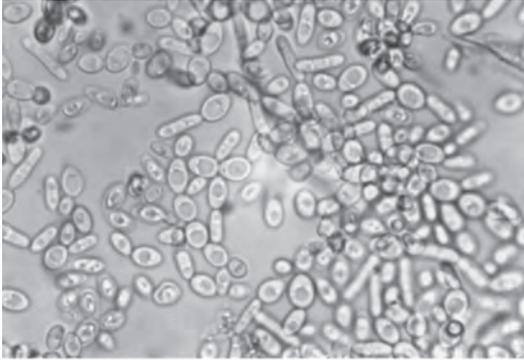


Abb. 6. 48 Stunden alte Hefezellen. Im Inneren sind die Vakuolen deutlich als große helle Kugeln zu erkennen.

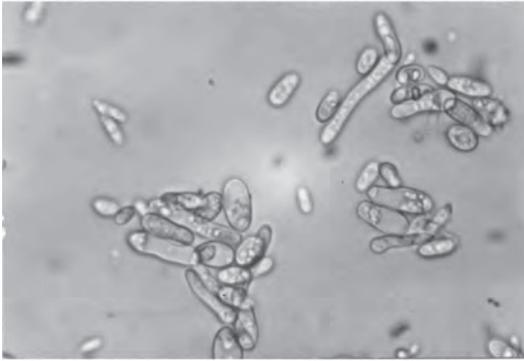


Abb. 7. *Saccharomyces pastorianus* Hansen. In Bierwürze gewachsene Zellen mit gut sichtbaren Granula.

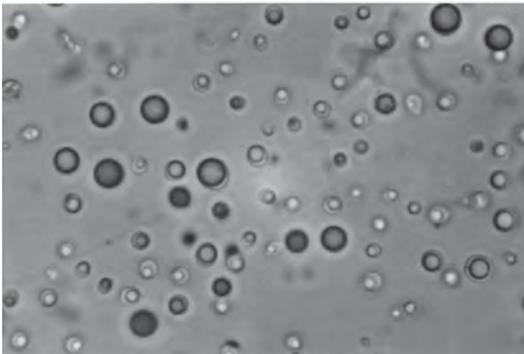


Abb. 8. Hefezellen aus Nektar mit besonders großen Fetttropfen, die teilweise fast die ganze Zelle einnehmen.

Einige Hefearten können beträchtliche Mengen Fett speichern. Man kann dies nachweisen, indem man die Hefezellen mit einprozentiger Osmiumsäure behandelt. Unter dem Mikroskop erscheinen dann die sonst stark lichtbrechenden Fettkügelchen in einem braunen

bis schwarzen Farbton. Im ersten Weltkrieg hat man versucht, das Hefefett zu gewinnen und der menschlichen Ernährung zuzuführen. Durch besondere Maßnahmen gelang es, Hefen mit einem Fettgehalt bis zu 7% der Trockensubstanz zu züchten, während der normale Fettgehalt bei etwa 2% liegt.

An weiteren Bestandteilen der Hefezellen sind Enzyme und Wuchsstoffe zu nennen. Auch Farbstoffe können eingelagert werden, wie die Karotinoide, die den „Roten Hefen“ ihr schönes Aussehen verleihen. Die „Schwarzen Hefen“ werden neuerdings nicht mehr zu den Hefen gezählt.

Der Zellkern

Im Zentrum des Zellplasmas, meist neben einer Vakuole, liegt der Zellkern eingebettet. Er ist von der dünnen Kernmembran umgeben, die ihn gegen das Zytoplasma abgrenzt. Der Hefezellkern ist relativ klein und kann gewöhnlich nur durch besondere Färbemethoden sichtbar gemacht werden. Er spielt bei der Vermehrung eine wichtige Rolle. Bei der Sprossung einer Hefezelle wandert er stets zu dem sprossenden Pol, teilt sich, und eine Teilungshälfte erhält die neu entstehende Tochterzelle. Über den Bau des Zellkerns bestehen unter den Wissenschaftlern noch unterschiedliche Auffassungen, und über die Kernteilung ist ebenfalls erst wenig bekannt. Wahrscheinlich nimmt der Kern der Hefezellen eine Zwischenstellung zwischen dem meist deutlich ausgeprägten Zellkern der höheren Pilze und den Nukleoiden der Bakterien ein. Hier müssen zukünftige Forschungsarbeiten noch Klarheit schaffen.

Chemisch besteht der Hefezellkern ebenso wie der Zellkern der höheren Pflanzen vorwiegend aus Nukleoproteiden. Nukleoproteide sind hochmolekulare Eiweißverbindungen. Sie kommen auch im Zellplasma vor und setzen sich aus einem Proteinkörper und einer Nukleinsäure zusammen. Man kennt zwei verschiedene Nukleinsäuren. Das ist die Ribonukleinsäure und die ein Sauerstoffatom weniger enthaltende Desoxyribonukleinsäure. Im Kern ist vorwiegend Desoxyribonukleinsäure enthalten.

Im allgemeinen bestehen Hefezellen zu etwa 75% aus Wasser. Die 25% Trockensubstanz setzen sich etwa folgendermaßen zusammen:

Protein	52 ‰
Fett	2 ‰
Glykogen	30 ‰
Zellulose, Gummi usw.	7 ‰
Asche	9 ‰

Je nach den unterschiedlichen Züchtungsbindungen schwanken die einzelnen Bestandteile in ihrer prozentualen Zusammensetzung. Weiterhin ist die Zusammensetzung der Trockensubstanz bei verschiedenen Hefeorganismen unterschiedlich. So kann der Ascheanteil zwischen 3,8 und 9 ‰ liegen. Nach Jörgensen-Hansen setzen sich die mineralischen Bestandteile verschiedener Hefeaschen folgendermaßen zusammen:

Kaliumoxyd	K_2O	23,3 — 39,5 ‰
Natriumoxyd	Na_2O	0,5 — 2,2 ‰
Kalziumoxyd	CaO	1,0 — 4,5 ‰
Magnesiumoxyd	MgO	3,7 — 8,5 ‰
Eisenoxyd	Fe_2O_3	0,06 — 0,7 ‰
Phosphorperoxyd	P_2O_5	44,8 — 59,4 ‰
Schwefeltrioxyd	SO_3	0,57 — 6,3 ‰
Siliziumdioxyd	SiO_2	0,92 — 1,8 ‰

Danach sind in der Hefeasche vorwiegend Kalium- und Phosphorverbindungen enthalten. Der Phosphor ist für die Hefen ein besonders wichtiges Lebelement. Bei der Gärung, der Umwandlung von Zucker in Alkohol und Kohlendioxyd, ist er unentbehrlich. Wir werden darauf in einem späteren Kapitel ausführlich eingehen.

Die chemische Zusammensetzung der Zellbestandteile ist außer von den aufgenommenen Nährstoffen vom Lebensalter der Zellen abhängig. So kann der Fettgehalt von Hefezellen nicht nur durch starke Belüftung erhöht werden, sondern er ist in alten Zellen gewöhnlich höher als in jungen.

Die Vermehrung der Hefen

Sprossung

Als Hefen faßt man eine Gruppe von Pilzen zusammen, die sich durch eine besondere Form der Vermehrung, die Sprossung, auszeichnen. Wie man die Bakterien, die sich durch Spaltung vermehren,

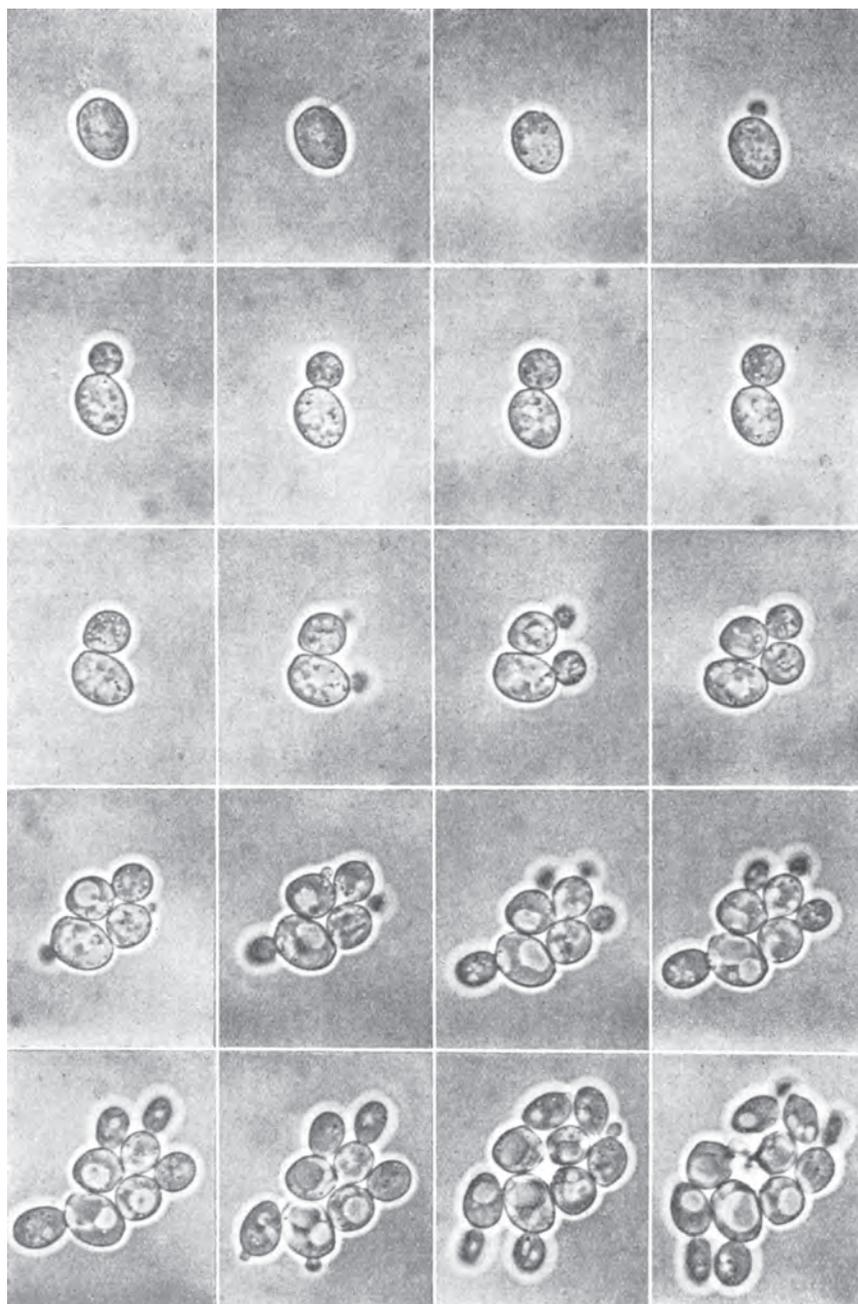


Abb. 9. Sprossende Hefezellen. Die Aufnahmen wurden jeweils im Zeitabstand von 15 Minuten gemacht (Photo R. Müller).



Abb. 21. 4 Wochen alte Riesenkolonie des Soorerregers auf Agarnährboden.

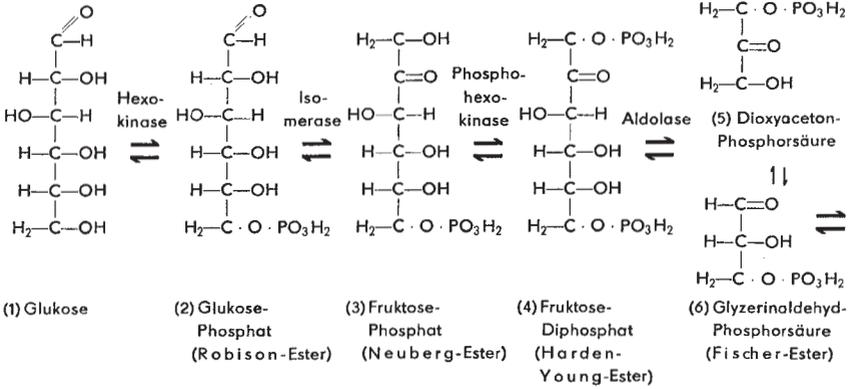


Abb. 22. Ein vom Soorpilz befallener Säugling.

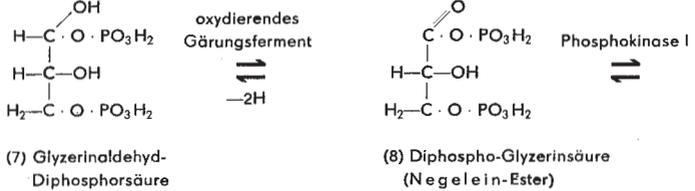
Erkrankung kommt. Wenn auch die Zahl der Todesfälle durch Soor mit den modernen Heilmitteln der Medizin verringert wurde, so hat doch die Zahl der Erkrankten in den letzten Jahren sehr stark zugenommen. Das hängt mit der Einführung der Antibiotika und Sulfonamide in die Medizin zusammen. Diese Medikamente vernichten nicht nur die pathogenen Mikroorganismen im Körper, sondern zerstören darüber hinaus auch einen Teil der im Mund und Darm vorhandenen nützlichen Bakterienflora. Wird die nützliche Bakterienflora des Körpers, die das Aufkommen von pathogenen Mikroorganismen unterdrückt, vernichtet, so kann es zu einer ungehemmten Entwicklung des Soorpilzes und damit zur Erkrankung kommen.

Durch eine Störung der Entwicklung der normalen Mikroflora im Körper können auch sonst völlig harmlose Hefearten, die stets im Mund und auch im Darm vorhanden sind, durch eine Massenentwicklung für den Menschen gefährlich werden. Die Anwendung von Sulfonamiden und Antibiotika als Heilmittel darf deshalb nur unter ärztlicher Aufsicht erfolgen. Jeder nicht unbedingt notwendige Einsatz dieser Medikamente muß unterbleiben.

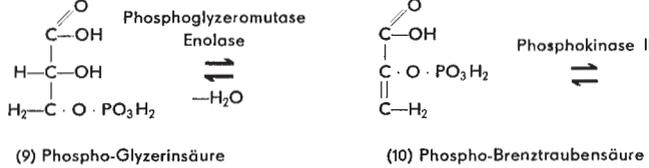
1. Stufe



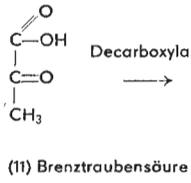
2. Stufe



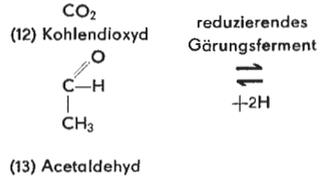
3. Stufe



4. Stufe



5. Stufe



6. Stufe

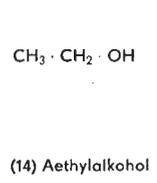


Abb. 25. Schema der alkoholischen Gärung.

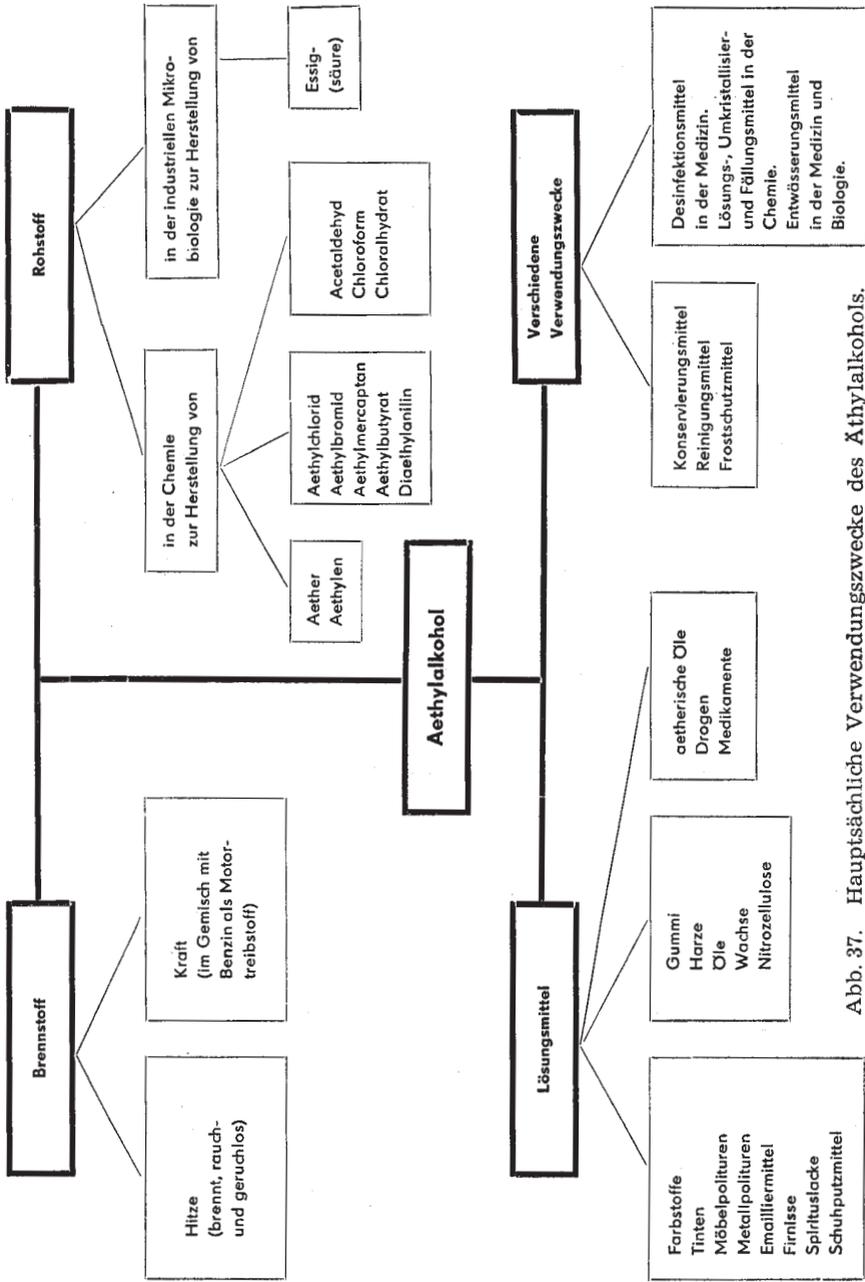


Abb. 37. Hauptsächliche Verwendungszwecke des Äthylalkohols.



Abb. 47. *Trichosporon variabile* (Lindner) Delitsch zeichnet sich durch besonders großen Formenreichtum aus. Neben Sproßzellen werden echte Hyphen mit ansitzenden Blastosporen gebildet. Auch Arthrosporen kommen vor.

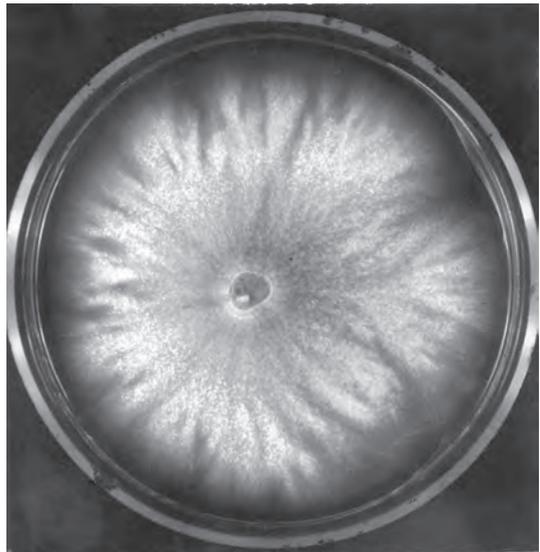


Abb. 48. Die Riesenkolonie einer „Schimmelhefe“ auf künstlichem Nährboden in einer Petrischale. Die Hyphen wachsen flach auf dem Nährboden.

