

C. Zufall und K. Wackerbauer

# Die Entalkoholisierung von Bier durch Dialyse – Verfahrenstechnische Beeinflussung der Bierqualität

Heutzutage stellt man „alkoholfreie“ und -arme Biere hauptsächlich mittels nachträglicher Alkoholentfernung aus ganz oder teilweise abgorenen Bieren her. Die Diffusion des Alkohols durch geeignete Membranen hat sich neben der Technik der Verdampfung unter Vakuum am Markt weitgehend durchsetzen können. Von besonderer Bedeutung unter den Membranverfahren ist die Dialyse. Alle Membrananlagen zur Entalkoholisierung von Bier weisen das Merkmal einer völligen Abwesenheit thermischer Produktbelastung auf. Dies muß allerdings nicht zwangsläufig bedeuten, daß die Membrantechnik grundsätzlich das bessere Verfahren gegenüber der Alkoholabdampfung wäre und sich prinzipiell qualitativ hochwertigere alkoholarme und -freie Biere damit herstellen ließen. Die vorliegende Arbeit stellt eine systematische Aufdeckung der Vor- und Nachteile verschiedener Arbeitsweisen bei der Entalkoholisierung von Bier mittels Dialyse dar. Untersuchungen über die Auswirkungen der Dialyse auf die Bierqualität bei der Herstellung alkoholarmer und -freier Biere sind zwar bereits veröffentlicht worden, ein Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher verfahrenstechnischer Parameter fehlte jedoch bislang.

BC 20 Allgemeines (Malz- und Bierbereitung)

(Deskriptoren: Alkoholfreies, alkoholreduziertes Bier, Vakuumverdampfung, verfahrenstechnische Parameter, Bierqualität, Aromakomponenten).

Descriptors: Alcohol-free beer, low-alcohol beer, vacuum evaporation, dialysis, process engineering parameters, beer quality, aroma compounds).

## 1 Einleitung

Schon seit annähernd 100 Jahren werden alkoholarme und „alkoholfreie“ Biere hergestellt, wobei man damals zunächst die verringerte Bildung von Alkohol während der Gärung als Verfahrensprinzip wählte. Es ist nicht weiter verwunderlich, daß die so produzierten Biere oft einen süßlichen und meist würzeartigen Geschmack aufwiesen. Aus diesem Grunde sind im weiteren Verlauf der Entwicklung verschiedene Methoden zur nachträglichen Alkoholentfernung aus vollständig vergorenen Bieren entwickelt und eingesetzt worden. Bis heute konnten sich davon zwei verschiedene physikalische Verfahren durchsetzen, nämlich die Technik der Destillation oder Verdampfung unter Vakuum und die Abtrennung des Alkohols über semipermeable Membranen (neben der Umkehrosiose ist hier speziell die Dialyse zu erwähnen). Am Markt haben Biere, denen nachträglich der Alkohol entzogen worden ist, neben solchen, die durch verringerte Alkoholbildung bei der Gärung hergestellt wurden, nach wie vor einen bemerkenswerten Erfolg.

Obwohl nach einem rasanten Aufwärtstrend, gefolgt von einer Stagnation des Absatzes, teilweise ein Rückgang der Nachfrage nach „alkoholfreien“ und alkoholarmen Bieren eingetreten ist, bewegt sich der Verkauf allein in Deutschland immer noch im Bereich von mehreren Millionen Hektolitern jährlich. Der Trend hin zu alkoholfreien Erfrischungsgetränken hat in den letzten Jahren zu einer gesteigerten Akzeptanz dieser Biere in der Bevölkerung geführt, was die Möglichkeit eröffnet, „alkoholfreie“ und alkoholarme Biere als kalorienarme Durstlöscher neu am Markt zu etablieren. Auch durch die Entwicklung von zur Zeit noch ungenutzten Marktpotentialen, vor allem im Ausland, ließe sich der nach wie vor recht bedeutende Ausstoß wieder erhöhen.

## 2 Literaturübersicht

Um bei der Herstellung von Bier ein Produkt zu erhalten, welches einen geringeren Alkoholgehalt aufweist als ein auf herkömmliche Weise erzeugtes, sind zwei prinzipielle Wege gangbar. Es handelt sich um die folgenden:

- Herstellungsverfahren, bei denen während der Gärung möglichst wenig Alkohol entsteht;
- Herstellungsmethoden, die auf einer nachträglichen Entfernung des Alkohols basieren.

Zusätzlich können Mischformen der beiden Prinzipien zur Anwendung kommen. In dieser Arbeit werden nur die Herstellungsverfahren mit nachträglicher Entfernung des Ethanol über Membrantrenntechniken behandelt. Hierbei sind verschiedene Verfahren gebräuchlich, vor allem die Umkehrosiose und die Dialyse.

### 2.1 Dialyse

Die Dialyse ist ein Trennvorgang, der auf dem Durchtritt von Stoffen durch sogenannte halbdurchlässige (semipermeable)

Membranen beruht. Sie erfordert keine Druckerhöhung, sondern der Stoffübergang läuft aufgrund von Konzentrationsunterschieden als spontane Diffusion ab. Die treibende Kraft dafür ist der Unterschied in den Konzentrationen zweier Lösungen. Prinzipiell haben alle in der konzentrierteren Lösung befindlichen Stoffe das Bestreben, in die Lösung niedrigerer Konzentration zu gelangen. Hier sorgt aber die semipermeable Membran für einen Molekülausschluß durch ihre Porendimensionen an der Oberfläche, aber auch noch im Inneren der Membran. Diese Porenstruktur wird auch als Permeabilität bezeichnet. Im Falle der Entalkoholisierung von Bier mittels Dialyse gegen Wasser haben alle Bierinhaltsstoffe das Bestreben, in das Wasser zu diffundieren. Aufgrund der vorgewählten Permeabilität ist dies, wie bereits erwähnt, jedoch nur für entsprechend kleine Moleküle wie beispielsweise Ethanol möglich (1).

Obwohl die Dialyse prinzipiell ein druckloses Verfahren ist, muß sowohl auf der Bier- als auch auf der Dialysatseite ein gewisser Überdruck angewendet werden, da eine Entbindung von Kohlensäure den Diffusionsvorgang stören würde. Der Druck muß mindestens dem  $\text{CO}_2$ -Sättigungsdruck des Bieres bei der gegebenen Temperatur entsprechen. Damit der Verlust von Kohlensäure aus dem Bier nicht zu groß wird, empfiehlt es sich, das Dialysatwasser mit einer geringen Menge an Kohlendioxid zu imprägnieren. Dies verringert gleichzeitig die Gefahr einer Sauerstoffaufnahme des Bieres aus dem Wasser. Es ist hervorzuheben, daß bei der Dialyse keine Aufkonzentrierung des Bieres stattfindet (2).

Der Dialysevorgang wird meist bei Lagerkellertemperaturen durchgeführt, somit ist eine thermische Belastung des Produktes nicht gegeben. Das Ausmaß der Alkoholreduzierung wird durch das Verhältnis des Bierdurchflusses zum Durchfluß des Dialysates (Wasser und aufgenommene Stoffe) geregelt. Trotz der schonenden Verfahrensweise kann der Ethanol selbstverständlich nicht selektiv entfernt werden. Andere Bierinhaltsstoffe wie höhere Alkohole und Ester weisen ähnliche Molekülgrößen und Polaritäten wie Ethanol auf und werden daher bei der Dialyse ebenfalls aus dem Bier entfernt. Ein weiteres Problem ist die bei allen Membranprozessen mögliche Belegung oder gar Verstopfung der Membranen (3).

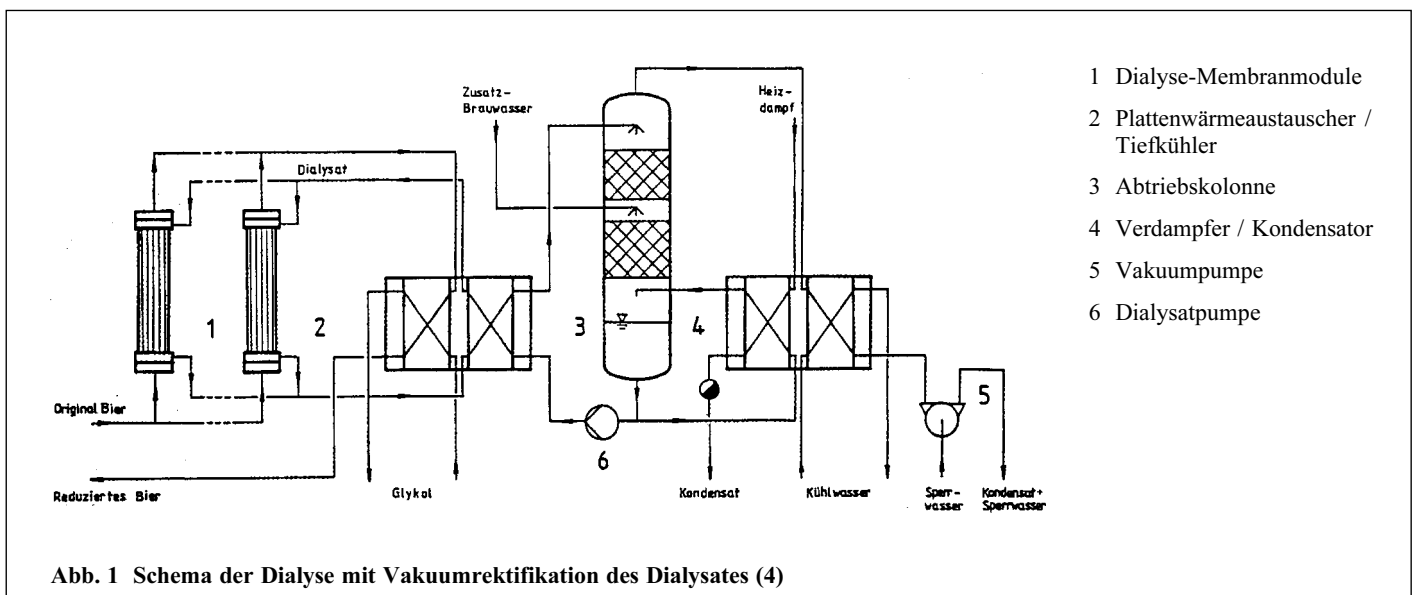
Die Membranen bestehen aus verschiedenen Cellulosederivaten und Kunststoffen und werden meist in Hohlfaserbündeln angeordnet, die man als Module bezeichnet. Durch die Hohlfasern

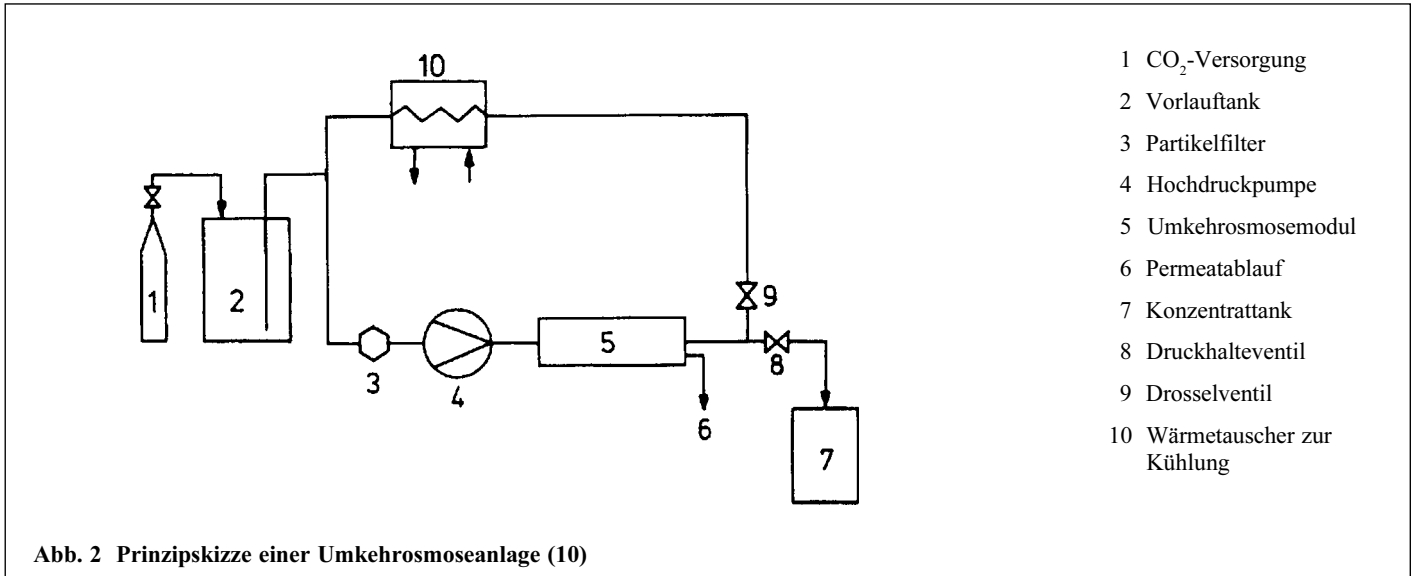
fließt das Bier, während im Gegenstrom Wasser (Dialysat) die Membran an ihrer Außenseite umspült. Das Dialysat wird entweder verworfen oder nach einer Vakuumrektifikation im Kreislauf gefahren. Dabei reichern sich Bieraromastoffe im Dialysat an und verringern den Konzentrationsgradienten zum Bier. Die Folge sind geringere Aromastoffverluste im Endprodukt (4). Eine Dialyseanlage mit Dialysatrektifikation zeigt Abbildung 1.

In der vorhandenen Literatur wird meist über die Herstellung von alkoholreduzierten Bieren im Bereich von 1,5% bis 3,5% mas berichtet (5, 6), die Herstellung „alkoholfreier“ Biere wird immer wieder als Möglichkeit erwähnt, jedoch fehlen entsprechende Untersuchungen. Auch über die Aromacharakteristik der erzeugten Biere gibt es nur wenige Angaben. *Niefind* (6) konstatiert zwar eine erhebliche geschmackliche Verbesserung des von ihm großtechnisch hergestellten alkoholreduzierten Diätbieres mit der Dialysentechnik, er vergleicht allerdings mit Bieren aus „einem Destillationsverfahren“, welche nach „Kochprodukten“ schmeckten. In einer späteren Veröffentlichung (7) räumt der Autor sogar ein, noch keine gesicherten Angaben hinsichtlich des Aromastoffverlustes in Abhängigkeit vom Grad der Alkoholreduzierung machen zu können.

## 2.2 Umkehrosmose

Ein neben der Dialyse weiteres wichtiges Membrantrennverfahren ist die Umkehrosmose. Sie befand sich interessanterweise beinahe zehn Jahre vor der Dialyse in großtechnischem Einsatz, über den von *Adler* (8) erstmalig berichtet wurde. Die Bezeichnung „Umkehrosmose“ gibt das Prozeßgeschehen sehr treffend wieder. Unter einem Druck, der über seinem osmotischen Druck liegt, strömt Bier an einer semipermeablen Membran vorbei. Meist kommen Drücke von 20 bis 30 bar zur Anwendung. Durch diesen Druck diffundiert ein Gemisch aus Wasser, Alkohol, Kohlendioxid und Aromastoffen durch die Membran. Neben der aufwendigeren Anlagentechnik mit Hochdruckpumpe und entsprechend widerstandsfähigeren Membranmodulen ist ein wesentlicher weiterer Unterschied zur Dialyse, daß das Bier bei der Entalkoholisierung gleichzeitig aufkonzentriert wird. Ein identisches Merkmal beider Verfahren ist die Arbeitsweise bei niedrigen Temperaturen, so daß eine thermische Belastung des Endproduktes jeweils ausgeschlossen ist. Es muß allerdings angemerkt





werden, daß die eingebrachte Pumpenleistung zu einer Erwärmung des Bieres führt, wodurch ein Wärmetauscher zu Kühlzwecken erforderlich werden kann. Die Membranen von Umkehrosmodulanlagen bestehen aus Celluloseacetat oder verschiedenen Kunststoffen. Eine einfache Umkehrosmodulanlage ist aus Abbildung 2 ersichtlich.

Vom Verfahrensablauf her sind zwei prinzipielle Möglichkeiten gegeben. Einmal kann Bier unverdünnt der Umkehrosmodulanlage unterworfen werden; das entalkoholierte Bierkonzentrat muß dann mit aufbereitetem Wasser rückverdünnt und zusätzlich karbonisiert werden. Bei der anderen Möglichkeit wird das Bier zuerst verdünnt und danach der Umkehrosmodulanlage unterworfen, wobei die Vorverdünnung so berechnet ist, daß das Bier die Umkehrosmodulanlage mit Ausstoßkonzentration verläßt. Das Produkt muß nur noch karbonisiert werden. Das erstgenannte Verfahren wird als unvorteilhaft beschrieben, da die Konzentrierung einerseits den Volumenfluß erheblich absenkt (9), andererseits zu Ausfällungen von Eiweißstoffen führt (8). Außerdem soll das Verfahren mit Vorverdünnung den Vorteil aufweisen, daß der Verlust von Aromastoffen geringer ausfällt und sich ferner ein zu schnelles Verlegen der Membranen verhindern läßt. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß man auf der Dialysatseite der Membran ebenfalls unter Überdruck arbeiten muß, um eine Schaumbildung zu vermeiden. Dieser Überdruck ist natürlich viel geringer als der, der auf dem Bier lastet. Außerdem ist bei der Verdünnung des Bieres auf den Sauerstoffgehalt, den pH-Wert und die Salzkonzentration des Verdünnungswassers zu achten. Während die beiden letztgenannten Parameter möglichst denen des Bieres entsprechen sollen, muß der Sauerstoffgehalt so niedrig wie möglich sein.

Über die Umkehrosmodulanlage wird in der Literatur hauptsächlich von der Herstellung alkoholreduzierter und alkoholarmer Biere berichtet. Es ist prinzipiell ohne Probleme möglich, „alkoholfreie“ Biere mit diesem Verfahren zu erzeugen. Versuche der Fa. APV haben allerdings gezeigt, daß es ein sehr zeit- und kostenaufwendiger Prozeß sein kann, den Alkoholgehalt unter 0,5% vol zu senken (5).

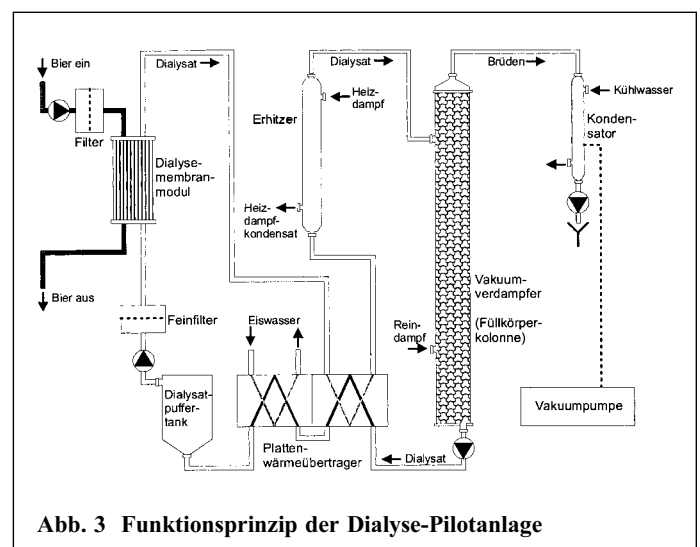
**3 Arbeitsmethoden**

Für die Entalkoholisierung mittels Dialyse fand eine Pilotanlage DY 020-1 der Fa. APV Rosista GmbH, Unna, Verwendung. Diese

ist durch einen geschlossenen Dialysatkreislauf gekennzeichnet, der eine Verwendung von z. B. Bier als Dialysat-Grundmedium erlaubt. Die Nennleistung beträgt laut Herstellerangabe 200 l/h (Abb. 3).

Das zu entalkoholisierende Bier gelangt über eine Pumpe und einen Partikelfilter in das Dialysemodul, in dem es Alkohol und andere flüchtige Stoffe durch eine semipermeable Membran an eine andere Flüssigkeit, das sogenannte Dialysat, abgibt. Der Bier-Partikelfilter dient als Sicherheitsfilter zum Schutz der Dialysemembran. Die semipermeable Membran ist in Form einer großen Anzahl von Hohlfasern in einem Polypropylenmodul angeordnet. Dadurch erreicht man eine sehr große Membranoberfläche bei geringem Platzbedarf. Das nun entalkoholierte Bier tritt aus dem Modul aus und muß nur noch auf den gewünschten Kohlensäuregehalt eingestellt werden, da bei der Dialyse ein Übergang von CO<sub>2</sub> ins Dialysat eintritt. Verdünnungseffekte sind bei der Versuchsanlage nur in vernachlässigbarem Maße zu beobachten, so daß keine weitere Aufbereitung des Bieres erforderlich ist.

Es ist vorteilhaft, als Dialysatmedium nicht Wasser, sondern stark alkoholreduziertes Bier zu verwenden. Betreibt man den Kreislauf mit Wasser, so besteht für alle Bierinhaltsstoffe ein großer



Konzentrationsgradient über die Dialysemembran, so daß ein Verlust an allen Substanzen eintritt, die klein genug für eine Passage durch die Dialysemembran sind. Die in Bier noch enthaltenen nicht dialysierbaren Extraktstoffe sorgen dagegen für eine Wanderung von Wasser in umgekehrter Richtung, d. h. wenn der gelöste Stoff nicht durch die Membran ins wasserreiche Dialysat diffundieren kann, dann tritt Wasser aus dem Dialysat ins Bier über und verdünnt es. Verwendet man dagegen ein Bier als Medium auf der Dialysatseite, so bestehen für die meisten Extraktstoffe auf beiden Seiten der Dialysemembran nahezu gleiche Konzentrationen. Es kann damit praktisch nicht mehr zu einem Übergang von Bierinhaltsstoffen in das Dialysat kommen. Eine vorherige Entalkoholisierung des Dialysatbieres erzeugt wieder einen Konzentrationsgradienten, aber im Idealfall nur für Ethanol, so daß auch nur der Ethanol dem Bier auf der Produktseite entzogen wird. Leider kann diese Idealvorstellung nicht realisiert werden, weil es noch kein wirtschaftlich durchführbares Verfahren gibt, um einem Dialysat-Bier den Ethanol selektiv zu entziehen. In der Praxis setzt man zu diesem Zweck eine Vakuumverdampfung ein, die zwar den Ethanol, aber gleichzeitig auch viele andere flüchtige Stoffe entfernt. Damit entzieht auch das durch Verdampfung entalkoholierte Dialysat dem Produkt unvermeidlicherweise mehr als nur den Ethanol. Es bleibt aber der Vorteil bestehen, daß bei Verwendung von Bier als Dialysatmedium keine Verdünnung des Produktes mit Wasser aus dem Dialysat eintritt.

Insgesamt wäre die Bierqualität bei Verwendung von Wasser auf der Dialysatseite also erheblich schlechter. Das entalkoholierte Produkt hätte eine Verdünnung mit Wasser erlitten und enthielte weit weniger Aromakomponenten. Aus diesem Grunde wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausschließlich mit Bier als Dialysatmedium gearbeitet. Dies verursacht zwar vordergründig höhere Kosten, bietet aber auch die Möglichkeit, in der Brauerei anfallende Restbiere wie z. B. Vor- und Nachläufe aus der Filtration, Bier aus unterfüllten Gebinden sowie mikrobiologisch einwandfreies Rückbier als Dialysat zu verwenden.

Verglichen mit der Behandlung des eigentlichen Produktes ist der Dialysatkreislauf erheblich aufwendiger gestaltet. Das Dialysat verläßt das Dialyse-Membranmodul, wird über einen Plattenwärmetauscher gegen warmes Dialysat aus dem Vakuumverdampfer vorgewärmt und tritt danach in den eigentlichen Erhitzer ein, der in der verwendeten Pilotanlage als geschlossenes Gefäß mit Rohrschlangen ausgeführt ist. Die Flüssigkeit verläßt den Erhitzer mit der vorgewählten Verdampfungstemperatur und strömt am oberen Ende in den Vakuumverdampfer ein. Dieser besteht aus einer Füllkörperkolonne mit seitlichem Eintritt von Heizdampf. Im Verdampfer teilt sich der Dialysatstrom in einen flüchtigen (dampfförmigen) und einen weiterhin flüssigen Anteil. Der Dialysatdampf wird am oberen Ende der Kolonne abgeführt und gelangt in den Kondensator. Dort schlägt man den Dampf mit Kaltwasser nieder und entfernt ihn über eine Pumpe aus dem System. An den Kondensator ist ebenfalls die Vakuumpumpe angeschlossen. Der flüssige, entalkoholierte Anteil des Dialysates, der sich am Boden der Verdampfer-Füllkörperkolonne sammelt, wird über eine Pumpe zu dem bereits weiter oben erwähnten Wärmetauscher geführt, wo er seine Wärme zunächst an das kalte, aus dem Dialysemodul kommende Dialysat und danach an Eiswasser abgibt. Über einen Puffertank, eine Pumpe und einen Feinfilter gelangt das entalkoholierte Dialysat wieder in das Dialysemodul, um dort erneut Alkohol aus dem Bier aufzunehmen. Der Feinfilter ist erforderlich, weil das als Dialysat dienende Bier während der Wärmebehandlung z. B. durch Eiweißkoagulation trübe wird und die entstandenen Partikel die Dialysemembran verblocken würden.

#### 4 Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit sind folgende Versuchsreihen durchgeführt worden:

##### Entalkoholisierung von Bier durch Dialyse (Dia):

- Variation der Entalkoholisierung durch Änderung des Durchflußverhältnisses (Reihe Dia 1)
- Änderung der Abdampfung des Dialysates und damit des Konzentrationsunterschiedes bei der Dialyse (Reihe Dia 2)
- Auswirkungen der Dialyse auf die Geschmacksstabilität

##### Analysenwerte kommerziell hergestellter „alkoholfreier“ Biere im Vergleich

Zur besseren Beurteilung der Analysendaten der Versuchsbiere ist eine Auswahl „alkoholfreier“ Handelsbiere nach dem gleichen Schema analysiert worden.

##### Kostenvergleich großtechnischer Entalkoholisierungsverfahren

Verschiedene Großbrauereien sind um anonymisierte Zahlenangaben bezüglich der Kosten für ihre Entalkoholisierung mittels Membranverfahren oder Vakuumverdampfung gebeten worden. Es wurden speziell variable Kosten, Fixkosten, Art und Ausnutzungsgrad der Anlagen sowie Anfangs- und Endwerte des Alkoholgehaltes abgefragt. Die erhaltenen Werte ermöglichen einen Kostenvergleich der verschiedenen Produktionsmethoden.

#### 4.1 Dialyse

Alle Untersuchungen sind von einem Vollbier vom Typ „Pils“ mit einer Stammwürze von ca. 11,2% und einem Alkoholgehalt von rund 4,8% vol. ausgegangen. Es handelt sich um das gleiche Bier wie in den kürzlich veröffentlichten Versuchen zur Fallstromverdampfung (11), allerdings aus einer anderen Produktionscharge.

Das Prozeßmedium, welches dem Bier den Alkohol entziehen soll und auf der anderen Seite der Membran fließt, bezeichnet man als Dialysat, obwohl es strenggenommen nur das Dialysat aufnimmt und ansonsten z. B. aus kohlenensäurehaltigem Wasser bestehen kann. Um Verluste an Bierinhaltsstoffen bei der Entalkoholisierung so gut wie möglich zu verringern, ist bei allen Versuchsreihen ein Bier als Prozeßmedium eingesetzt worden. Dieses „Prozeßmedium“-Bier verliert seinen Alkohol größtenteils bei einer Vakuumverdampfung. Es nimmt dann während der eigentlichen Dialyse den Alkohol des „Produkt“-Bieres auf und wird im Kreislauf seinerseits erneut mittels Vakuumverdampfung entalkoholisiert. Wie bereits näher erklärt worden ist, kommt es bei der Dialyse zu einem nicht unerheblichen Verlust an Kohlensäure über die Membran, welcher durch nachträgliche Aufkarbonisierung ausgeglichen werden muß.

In den Versuchen variiert man die prozeßtechnischen Parameter Durchflußverhältnis (Dia 1) sowie Dialysatabdampfung bzw. Alkoholgehalt des Dialysates (Dia 2) und untersucht die resultierende Bierqualität. Die Geschmacksstabilität ist das Thema der Versuchsreihe Dia 3.

Die Effizienz der Entalkoholisierung von Bier über eine semipermeable Membran hängt hauptsächlich von zwei Faktoren ab. Es handelt sich um:

- Die Menge an alkoholaufnehmendem Prozeßmedium (Dialysat), die bei der Entalkoholisierung für ein Biervolumen zur Verfügung steht. Dieses Verhältnis kann über die Veränderung der Durchflüsse von Bier und Dialysat durch das Membranmodul verändert werden (Reihe Dia 1).

**Tabelle 1 Einfluß des Durchflußverhältnisses auf die Dialyse**

Versuch #	Durchfluß Dialysat	Durchfluß Bier	Durchflußverhältnis $V_D$	Temperatur Verdampfer	Verbrauch Heizedampf	Alkoholgehalt Dialysat
	[kg/h]	[kg/h]		[°C]	[kg/h]	[% mas]
Dia 1-1	180	40	4,50	56,7	28	0,79
Dia 1-2	200	39	5,13	56,2	30	0,67
Dia 1-3	215	39	5,51	59,4	29	0,55
Dia 1-4	230	40	5,75	57,6	31	0,45
Dia 1-5	260	41	6,34	58,4	32	0,39

□ Den Alkohol-Konzentrationsunterschied über die Membran. Bei einem gleichbleibenden für die Entalkoholisierung vorgegebenen Bier besteht die Möglichkeit der Einflußnahme nur über den Alkoholgehalt des Dialysatzuflusses, der wiederum von der Beheizung des vorgeschalteten Vakuumverdampfers abhängt (Reihe Dia 2).

Das Verhältnis des Biervolumenstroms zum Volumenstrom des Prozeßmediums und damit auch die Kontaktzeit wird über das *Durchflußverhältnis*  $V_D$  ausgedrückt. Dieses läßt sich wie folgt berechnen:

$$V_D = \frac{\text{Durchfluß Prozeßmedium (Dialysat)}}{\text{Durchfluß Bier (Produkt)}}$$

Die Proben des entalkoholisierten Bieres und des Dialysates sind unmittelbar nach deren Austritt aus dem Dialyse-Membranmodul genommen worden.

**4.1.1 Versuchsreihe Dia 1: Variation der Entalkoholisierung durch Änderung des Durchflußverhältnisses**

In dieser Versuchsreihe bleiben der Bierdurchfluß durch das Membranmodul und der Heizedampfverbrauch konstant. Man variiert allein den Durchfluß des Dialysates. Damit ändert sich die Dialysatmenge, die für ein Biervolumen zur Verfügung steht und in der Folge ebenfalls die Menge an aus dem Bier entfernten Alkohol sowie an anderen flüchtigen Komponenten. Zu untersuchende Größen sind das Ausmaß der Entalkoholisierung und die Auswirkungen der Variation des Durchflußverhältnisses auf die Qualität des entalkoholisierten Bieres.

*Es bleiben konstant:*

- Bierdurchfluß: ca. 40 kg/h
- Temperatur Bierzulauf:  $7 \pm 1$  °C
- Temperatur Dialysatzulauf:  $18 \pm 2$  °C
- Heizedampfverbrauch: ca. 30 kg/h
- Verdampfertemperatur:  $58 \pm 2$  °C

*Variiert wird der*

- Dialysatdurchfluß: 180–260 kg/h.

*Parallel ändert sich der*

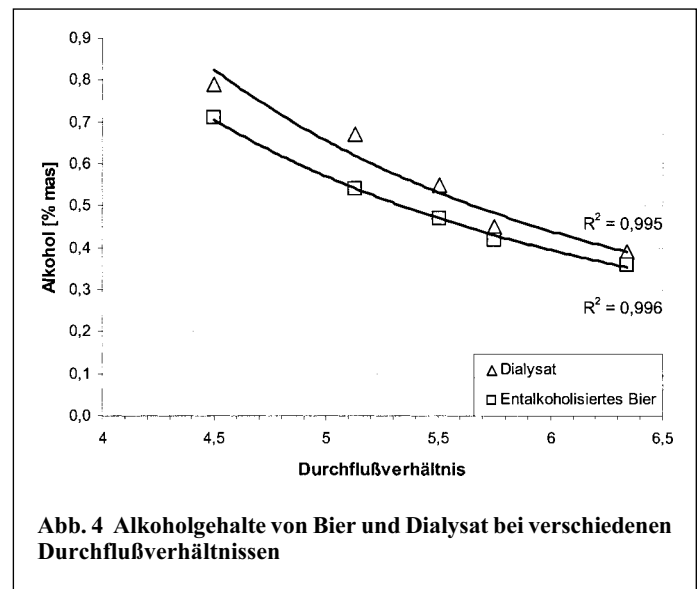
- Alkoholgehalt des Dialysats: 0,79%–0,39% mas.

In der Tabelle 1 sind die Prozeßparameter der einzelnen Versuche innerhalb der Versuchsreihe Dia 1 dargestellt.

Mit höherem Durchflußverhältnis steht für ein Biervolumen mehr Dialysat zur Verfügung, so daß im Membranmodul mehr Alkohol übertragen werden kann. Allerdings kann bei schnellerem Durchlauf des Dialysates durch die Vakuumverdampfungs-kolonnen bei annähernd gleicher Heizedampfmenge dort etwas weniger Alko-

hol aus dem Dialysat entfernt werden. In der Summe erhöht sich die Wirksamkeit der Entalkoholisierung jedoch deutlich. In Abbildung 4 ist die Veränderung der Alkoholgehalte von entalkoholisiertem Bier und Dialysat in Abhängigkeit vom Durchflußverhältnis dargestellt. Es ist zu erkennen, daß sich ein bestimmtes Durchflußverhältnis mit hohem Bestimmtheitsmaß einem Alkoholgehalt zuordnen läßt. Durch die gegenläufige Fließrichtung von Bier und Dialysat im Membranmodul liegt der Alkoholgehalt des Dialysates immer etwas höher als der des entalkoholisierten Bieres. Bedingt durch den schnelleren Durchfluß ist eine gewisse Annäherung der Alkoholgehalte von Bier und Dialysat mit höheren Durchflußverhältnissen und niedrigerer Kontaktzeit zu beobachten. Der Alkoholgehalt des Bieres scheint insgesamt mehr von der für ein Biervolumen verfügbaren Dialysatmenge abhängig zu sein als von der Abdampfung des Dialysat-Alkohols im Vakuumverdampfer und von der eigentlichen Kontaktzeit im Membranmodul.

Neben der Veränderung des Alkoholgehaltes sind auch die *Veränderungen der Bieraromastoffe* durch die Dialyse untersucht worden. Es soll zunächst auf die *höheren Alkohole* eingegangen werden. Wie zu erwarten ist, nimmt der Gehalt an höheren Alkoholen parallel zur verstärkten Entalkoholisierung ab. Wie man aus Abbildung 5 ersehen kann, werden in der Summe zwar nur 4% bis 11% der ursprünglichen Menge im rückverdünnten entalkoholisierten Bier wiedergefunden, bei analogen Versuchen zur Fallstromverdampfung (11) lag dieser Wert aber bei 3% bis 9%. Man findet in „Dialysebieren“ also etwas größere Mengen an



**Abb. 4 Alkoholgehalte von Bier und Dialysat bei verschiedenen Durchflußverhältnissen**

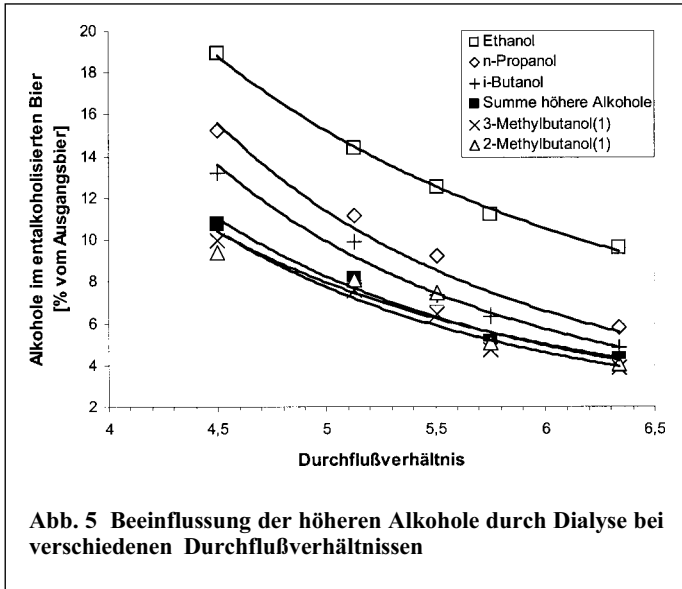


Abb. 5 Beeinflussung der höheren Alkohole durch Dialyse bei verschiedenen Durchflußverhältnissen

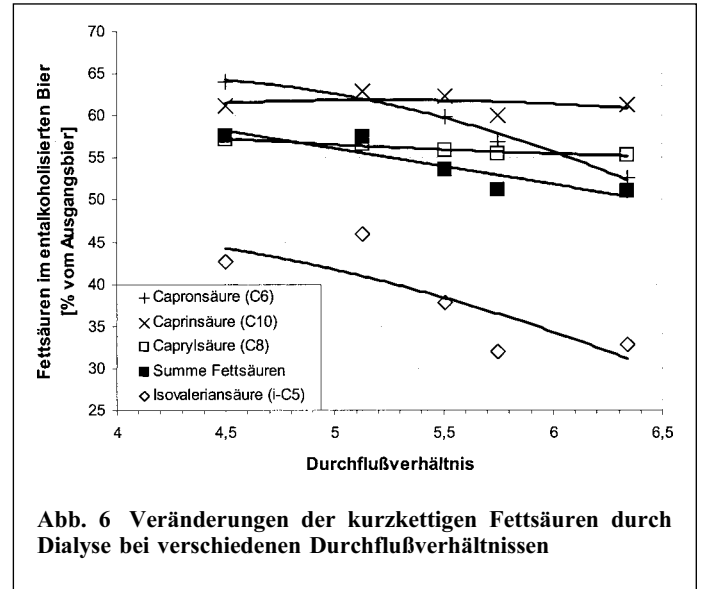


Abb. 6 Veränderungen der kurzkettigen Fettsäuren durch Dialyse bei verschiedenen Durchflußverhältnissen

höheren Alkoholen wieder. Wie schon bei der Fallstromverdampfung, so fällt auch bei der Dialyse der Verlust an höher konzentrierten Komponenten wie z. B. den Isoamylalkoholen naturgemäß prozentual stärker ins Gewicht als der Verlust an höheren Alkoholen, die schon im Ausgangsbier nur in geringen Mengen vorliegen.

Die untersuchten konzentrationsstarken Ester Isoamylacetat, Ethylacetat, Ethylformiat und Phenylethylacetat liegen nach der Dialyse bei allen Durchflußverhältnissen unter der Nachweisgrenze von 0,1 mg/l, so daß sie nicht mehr detektierbar sind. Nur in der Reihe Dia 1-1 ist in einem Falle ein Wert von 0,3 mg/l für Ethylacetat aufgetreten. Tabelle 2 zeigt als Beispiel für die Veränderungen an Bieraromastoffen durch die Dialyse das rückverdünnte Bier aus Versuch Dia 1-4 mit einem Alkoholgehalt von 0,42% mas. Dies entspricht 0,54% vol, so daß dieses Bier nur knapp über dem Bereich eines „alkoholfreien“ Produktes liegt. Verglichen wird mit dem Ausgangsbier.

	Ausgangsbier	„Alkoholfreies“ Bier
	[mg/l]	[mg/l]
Acetaldehyd	5,4	3,8
n-Propanol	9,4	0,6
i-Butanol	7,0	0,4
2-Methylbutanol(1)	9,9	0,5
3-Methylbutanol(1)	43,6	2,1
Isoamylacetat	2,2	< 0,1
Ethylformiat	< 0,1	< 0,1
Ethylacetat	12,1	< 0,1
Phenylethylacetat	< 0,1	< 0,1
Summe höhere aliphatische Alkohole	69,9	3,6
Summe Ester	14,3	< 0,1
Ethanol [% mas]	3,75	0,42
Ethanol [% vol]	4,80	0,54

Die Konzentration der Summe der kurzkettigen Fettsäuren des entalkoholisierten Bieres liegt im Bereich von 50% bis 60% des Ausgangsbieres. Im Gegensatz zu den höheren Alkoholen und Estern ist bei den Säuren mit höherem Durchflußverhältnis keine klare Tendenz zu einer Konzentrationsabnahme erkennbar. Die Mengen an Capryl- und Caprinsäure bleiben in allen Versuchen gleich, während die anderen Säuren mit größerem Durchflußverhältnis leicht abnehmen. Valeriansäure und Laurinsäure sind nicht nachweisbar. In Abbildung 6 ist das Verhalten der kurzkettigen Fettsäuren grafisch dargestellt.

Eine Staffelung der wiedergefundenen Fettsäuremengen nach ihrer Kettenlänge oder Wasserlöslichkeit ist bei der Dialyse nicht erkennbar. In Tabelle 3 werden die Fettsäuregehalte des „alkoholfreien“ Bieres aus Versuch Dia 1-4 mit denen des Ausgangsbieres verglichen.

Die *naßchemische Bieranalyse* zeigt neben den bereits besprochenen nur geringfügige Veränderungen der Bierqualität durch die Dialyse.

- Die Bittereinheiten nehmen vom Ausgangswert 30,7 EBC um ca. 1 bis 1,5 EBC ab.

	Ausgangsbier	„Alkoholfreies“ Bier
	[mg/l]	[mg/l]
Buttersäure (C4)	0,76	0,29
Isovaleriansäure (i-C5)	1,22	0,39
Valeriansäure (C5)	< 0,01	< 0,01
Capronsäure (C6)	1,88	1,07
Caprylsäure (C8)	4,61	2,56
Caprinsäure (C10)	0,35	0,21
Laurinsäure (C12)	< 0,01	< 0,01
Summe kurzkettige Fettsäuren	8,82	4,52
Ethanol [% mas]	3,75	0,42
Ethanol [% vol]	4,80	0,54

- Der pH-Wert der entalkoholisierten Biere erhöht sich vom Wert des Ausgangsbieres (4,55) um ca. 0,1. Dabei ist keine Tendenz im Zusammenhang mit dem Durchflußverhältnis feststellbar. Die pH-Erhöhung ist wahrscheinlich durch den Übergang flüchtiger Säuren ins Dialysat begründet.

Die Unterschiede bei Farbe, Gesamtstickstoff, koagulierbarem Stickstoff und beim Polyphenolgehalt bewegen sich im Rahmen der Analysentoleranz.

Die folgende Tabelle 4 zeigt naßchemische Analysenwerte des „alkoholfreies“ Bieres aus Versuch Dia 1-4 im Vergleich mit denen des Ausgangsbieres.

Im Vergleich mit anderen Entalkoholisierungsmethoden (11) fällt die geringere Steigerung des scheinbaren Extraktes durch die Dialyse auf. Bei der Fallstromverdampfung beträgt der scheinbare Extrakt bei ähnlich starker Entalkoholisierung 3,64%, bei der Dialyse dagegen 3,21%. Mögliche Einflußfaktoren sind eine geringere Entfernung flüchtiger Komponenten und ein gewisser Verdünnungseffekt durch aus dem Dialysat übergegangenes Wasser.

Die *Verkostung* der mit unterschiedlichen Dialysatmengen entalkoholisierten Biere zeigt in Bezug auf die Vollmundigkeit erhebliche Mängel. Die Vollmundigkeit fehlt besonders bei den Bieren Dia 1-3 bis Dia 1-5, bei denen mit den höchsten Durchflußverhältnissen gearbeitet worden ist. Einen gewissen Unterschied zur Fallstromverdampfung stellt das völlige Fehlen eines karamelartigen Aromas dar, welches sich bei manchen Versuchen mit stärkerer Abdampfung vornehmlich im Geruch bemerkbar gemacht hatte (11). Dieser kleine geschmackliche Vorteil der „Dialysebiere“ wird allerdings durch ihren fast durchgängig leicht säuerlichen Charakter mehr als aufgehoben. Offenbar führt der

Verlust an Vollmundigkeit bei nur geringer Abnahme des Gehaltes an flüchtigen Säuren zu einem stärkeren Hervortreten des sauren Geschmacks und damit zu einer gewissen Disharmonie im Aromaeindruck. Nur das Bier aus Dia 1-1 stellt eine Ausnahme dar, da es keinen hervortretend sauren Charakter hat. Intensität und Qualität der Bittere aller Biere entsprechen denen des Ausgangsbieres.

4.1.2 *Versuchsreihe Dia 2: Änderung der Abdampfung des Dialysates und damit des Konzentrationsunterschiedes bei der Dialyse*

Konstant bleiben in dieser Versuchsreihe der Bierdurchfluß durch das Membranmodul und die Dialysat-Durchflußmenge. Das Durchflußverhältnis bleibt ebenfalls gleich, man variiert nur die in den Verdampfer eingegebene Menge an Reindampf und damit die Abdampfung des Dialysates. Bei erhöhter Abdampfung verringert sich der Alkoholgehalt des Dialysates, was im Membranmodul zu einem größeren Konzentrationsgradienten zwischen Bier und Dialysat führt. Ein größerer Gradient bedeutet theoretisch eine größere Aufnahmefähigkeit des Dialysates für Alkohol aus dem Bier und außerdem einen beschleunigten Alkoholübergang über die Membran. Zu untersuchende Größen sind das Ausmaß der Entalkoholisierung und die Auswirkungen der unterschiedlichen Abdampfung des Dialysates auf die Qualität des entalkoholisierten Bieres.

Die der Dialyseanlage zugehörige Vakuumverdampfeinheit stellt ein eher einfaches System mit vergleichsweise geringen Variationsmöglichkeiten dar. So kann der Unterdruck nicht genau justiert werden. Man muß daher auf Versuchsreihen verzichten, in denen die Auswirkung des Vakuums auf Dialysat-Abdampfung und Bierqualität untersucht wird. Im Bereich der Heizleistung des Reindampferzeugers sind ferner nur drei Abstufungen sinnvoll, da sich lediglich ein Temperaturunterschied von ca. 11 °C über den gesamten Arbeitsbereich ergibt.

- Es bleiben konstant:*
  - Bierdurchfluß: ca. 40 kg/h
  - Temperatur Bierzulauf: 7 ± 1 °C
  - Temperatur Dialysatzulauf: 18 ± 2 °C
  - Dialysatdurchfluß: ca. 215 kg/h
- Variiert wird der*
  - Heizdampfverbrauch: 12 – 48 kg/h
- Parallel ändern sich die*
  - Verdampfertemperatur: 55 – 66 °C
- und der*
  - Alkoholgehalt des Dialysats: 0,64%–0,35 % mas.

In Tabelle 5 sind die Prozeßparameter der einzelnen Versuche innerhalb der Versuchsreihe Dia 2 dargestellt.

Die Veränderungen in den Alkoholgehalten des Dialysates und des entalkoholisierten Bieres in Abhängigkeit von der Abdampfung des Dialysates sind in Abbildung 7 dargestellt. Im untersuchten Wertebereich sinkt der Alkoholgehalt des Bieres mit geringerem Alkoholgehalt des Dialysates, allerdings nicht proportional. Ein hoher Heizdampfverbrauch mit großer Abdampfung und als Resultat einem geringen Dialysat-Alkoholgehalt wirkt sich weit weniger stark auf den Alkoholgehalt des Bieres aus als die Erhöhung des Durchflußverhältnisses in der Versuchsreihe Dia 1. Im Bereich sehr geringer Abdampfung (<< 12 kg Dampf/h) ist eine starke Erhöhung des Dialysat-Alkoholgehaltes zu erwarten. Ab 12 kg/h ist die Abdampfung hinreichend effektiv, die Alkoholgehalte liegen unter 0,7% mas. Eine direkte Erfassung der Abdampfung ist anlagenbedingt nicht möglich.

**Tabelle 4 Naßchemische Bieranalyse vor und nach Dialyse am Beispiel des Bieres Dia 1-4**

		Ausgangsbier	„Alkoholfreies“ Bier
Stammwürze	[%]	11,16	4,63
Scheinbarer Extrakt	[%]	1,92	3,21
Wirklicher Extrakt	[%]	3,86	3,78
Scheinbarer Vergärungsgrad	[%]	82,8	
Wirklicher Vergärungsgrad	[%]	65,4	
Farbe	[EBC]	7,25	7,50
pH-Wert		4,55	4,64
Bittereinheiten	[EBC]	30,7	29,5
Gesamtstickstoff	[mg/l]	823	818
Gesamtstickstoff (12% Stw.)	[mg/l]	885	
Koagulierbarer Stickstoff	[mg/l]	22	21
Koagulierbarer Stickstoff (12%)	[mg/l]	24	
Polyphenole	[mg/l]	97	102
Ethanol	[% mas]	3,75	0,42
Ethanol	[% vol]	4,80	0,54

Tabelle 5 Einfluß der Abdampfung des Dialysates auf die Dialyse

Versuch #	Durchfluß Dialysat	Durchfluß Bier	Durchfluß-verhältnis $V_D$	Temperatur Verdampfer	Verbrauch Heizdampf	Alkoholgehalt Dialysat
	[kg/h]	[kg/h]		[°C]	[kg/h]	[% mas]
Dia 2-1	212	39	5,44	54,4	12	0,64
Dia 2-2	215	39	5,51	59,4	29	0,55
Dia 2-3	214	40	5,35	65,8	48	0,35

Die Konzentrationen der Bieraromastoffe werden mit höherem Heizdampfverbrauch geringer. Analog zum Verlauf des Alkoholgehaltes nehmen auch die höheren Alkohole im untersuchten Bereich mit stärkerer Dialysat-Abdampfung fast linear ab. Dies deckt sich mit der Erfahrung, daß eine Dialyse von Bier gegen Wasser zu unzufriedenstellend niedrigen Gehalten an Bieraromastoffen führt. Wie aus Abbildung 8 ersichtlich, werden in der Summe bei geringer Abdampfung noch ungefähr 9% der ursprünglichen Menge im rückverdünnten entalkoholisierten Bier

wiedergefunden, bei starker Dialysat-Abdampfung sind es aber bereits deutlich weniger als 4%.

Der Verlust an höher konzentrierten Komponenten wie den Isoamylalkoholen fällt erneut prozentual stärker ins Gewicht als der Verlust an höheren Alkoholen, die schon im Ausgangsbier nur in geringen Mengen vorliegen.

Von den untersuchten konzentrationsstarken *Estern* Isoamylacetat, Ethylacetat, Ethylformiat und Phenylethylacetat liegt nach der Dialyse keiner mehr über der Nachweisgrenze von 0,1 mg/l, so daß keine Auswertung möglich ist. Tabelle 6 zeigt als Beispiel für die Veränderungen an Bieraromastoffen durch die Dialyse das Bier aus Versuch Dia 2-3 mit einem Alkoholgehalt von 0,37% mas. Dies entspricht 0,47% vol, so daß dieses Bier genau im Bereich eines „alkoholfreien“ Produktes liegt. Verglichen wird mit dem Ausgangsbier.

Wenn man Tabelle 2 mit Tabelle 6 vergleicht wird deutlich, daß in Reihe Dia 2-3 eine Entalkoholisierung erreicht wird, die etwa derjenigen von Reihe Dia 1-4 entspricht, der Verlust an Bieraromastoffen ist allerdings bei Dia 2-3 größer. Die Dialyse mit geringerem Unterschied des osmotischen Druckes, aber mit größerem Durchflußverhältnis scheint für die Erhaltung der Bieraromastoffe etwas günstiger zu sein.

Die Konzentration der Summe der *kurzkettigen Fettsäuren* des entalkoholisierten Bieres liegt im Bereich von 40% bis 60% des Ausgangsbieres. Es ist zwar bei allen Säuren eine geringfügige Konzentrationsabnahme mit stärkerer Entalkoholisierung er-

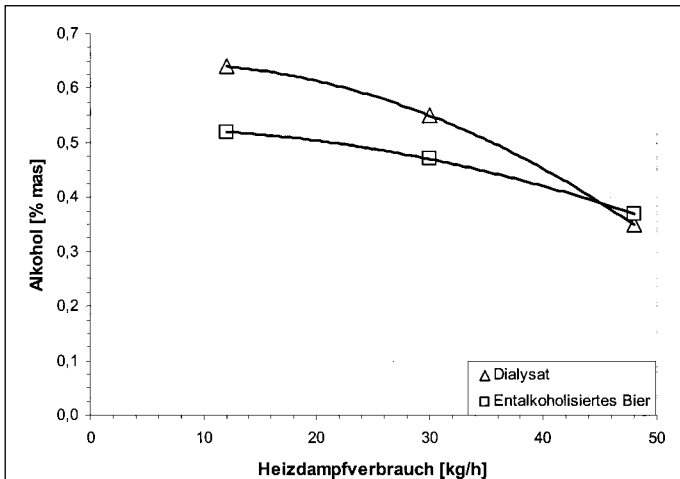


Abb. 7 Alkoholgehalte von Bier und Dialysat bei unterschiedlichem Heizdampfverbrauch, aber konstantem Durchflußverhältnis

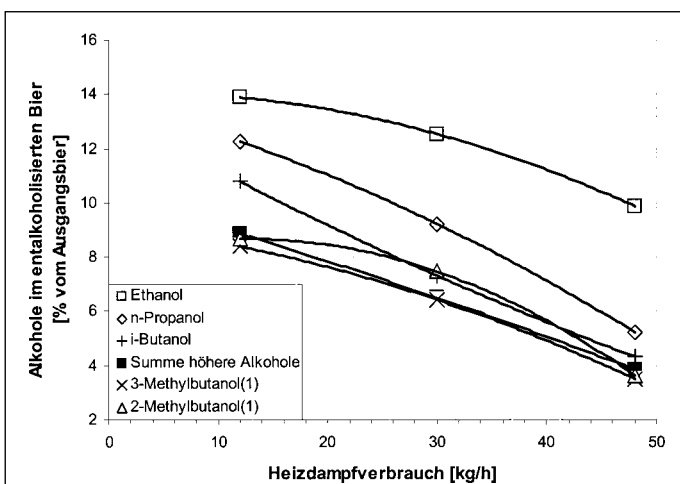
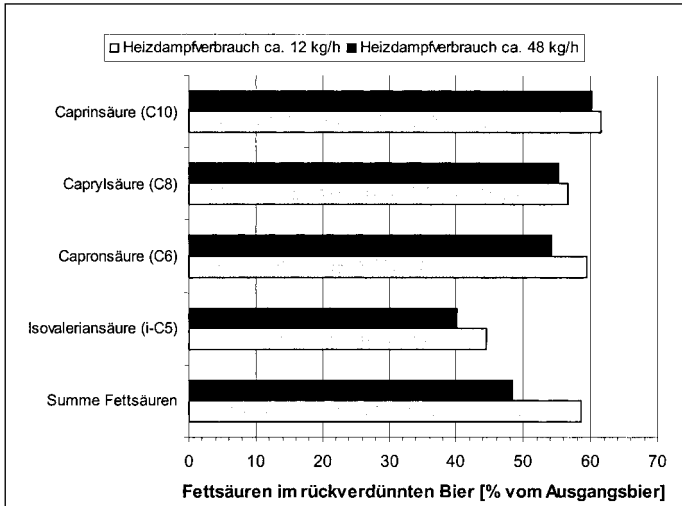


Abb. 8 Beeinflussung der höheren Alkohole durch Dialyse bei unterschiedlichem Heizdampfverbrauch, aber konstantem Durchflußverhältnis

Tabelle 6 Bieraromastoffe vor und nach Dialyse am Beispiel des Bieres Dia 2-3

	Ausgangsbier	„Alkoholfreies“ Bier
	[mg/l]	[mg/l]
Acetaldehyd	5,4	3,7
n-Propanol	9,4	0,5
i-Butanol	7,0	0,3
2-Methylbutanol(1)	9,9	0,4
3-Methylbutanol(1)	43,6	1,5
Isoamylacetat	2,2	< 0,1
Ethylformiat	< 0,1	< 0,1
Ethylacetat	12,1	< 0,1
Phenylethylacetat	< 0,1	< 0,1
Summe höhere aliphatische Alkohole	69,9	2,7
Summe Ester	14,3	< 0,1
Ethanol [% mas]	3,75	0,37
Ethanol [% vol]	4,80	0,47



**Abb. 9** Veränderungen der kurzkettigen Fettsäuren durch Dialyse bei unterschiedlichem Heizdampfverbrauch, aber konstantem Durchflußverhältnis

kennbar, im Rahmen der Analysentoleranz bleiben Capryl- und Caprinsäure jedoch gleich, während die anderen Säuren nur tendenziell abnehmen. Valeriansäure und Laurinsäure sind nicht nachweisbar. In Abbildung 9 ist das Verhalten der kurzkettigen Fettsäuren grafisch dargestellt.

In Tabelle 7 werden die Fettsäuregehalte des „alkoholfreien“ Bieres aus Versuch Dia 2-3 mit denen des Ausgangsbieres verglichen. Die Abnahmen liegen im selben Bereich wie bei den Versuchen in der Reihe Dia 1.

Die Veränderungen der naßchemischen Bieranalyse durch die Dialyse entsprechen im wesentlichen denen der Versuchsreihe Dia 1. Es sind nur geringfügige Veränderungen der Bierqualität feststellbar.

- Die Bittereinheiten nehmen vom Ausgangswert 30,7 EBC um ca. 1 EBC ab.
- Der pH-Wert der entalkoholisierten Biere erhöht sich vom Wert des Ausgangsbieres (4,55) um ca. 0,1.

	Ausgangsbier	„Alkoholfreies“ Bier
	[mg/l]	[mg/l]
Isovaleriansäure (i-C5)	1,22	0,49
Valeriansäure (C5)	< 0,01	< 0,01
Capronsäure (C6)	1,88	1,02
Caprylsäure (C8)	4,61	2,55
Caprinsäure (C10)	0,35	0,21
Laurinsäure (C12)	< 0,01	< 0,01
Summe kurzkettige Fettsäuren	8,82	4,27
Ethanol [% mas]	3,75	0,37
Ethanol [% vol]	4,80	0,47

Die Unterschiede bei Farbe, Gesamtstickstoff, koagulierbarem Stickstoff und beim Polyphenolgehalt bewegen sich im Rahmen der Analysentoleranz.

Die folgende Tabelle 8 zeigt naßchemische Analysenwerte des „alkoholfreien“ Bieres aus Versuch Dia 2-3 im Vergleich mit denen des Ausgangsbieres.

Wie bereits im Rahmen der Versuchsreihe Dia 1 erwähnt, fällt eine vergleichsweise geringe Steigerung des scheinbaren Extraktes durch die Dialyse auf. Mögliche Einflußfaktoren sind eine geringere Entfernung flüchtiger Komponenten und ein gewisser Verdünnungseffekt durch aus dem Dialysat übergegangenes Wasser.

Die *Verkostung* der mit verschiedenem Heizdampfeinsatz, unterschiedlichen Dialysat-Abdampfzeiten und damit unterschiedlichen Dialysat-Alkoholgehalten entalkoholisierten Biere zeigt wiederum die bekannten Mängel in der Vollmundigkeit. Dies wird besonders beim Bier aus Dia 2-3 deutlich, welches am stärksten entalkoholisiert worden ist. Ein karamelartiges Aroma konnte nicht festgestellt werden, wohl aber ein leicht säuerlicher Charakter. Dieser schon aus der Versuchsreihe Dia 1 bekannte Geschmackseindruck war bei allen Bieren der Versuchsreihe vorhanden, trat jedoch bei Dia 2-3 aufgrund der besonders geringen Vollmundigkeit stark hervor. Intensität und Qualität der Bittere aller Biere entsprechen denen des Ausgangsbieres.

**4.1.3 Versuchsreihe Dia 3: Auswirkungen der Dialyse auf die Geschmacksstabilität**

Für die Untersuchungen zur Geschmacksstabilität fanden Biere aus der Versuchsreihe Dia 1 Verwendung. Man hat sie zwei Wochen bei 28 °C altern lassen und parallel dazu entsprechende

		Ausgangsbier	„Alkoholfreies“ Bier
Stammwürze	[%]	11,16	4,53
Scheinbarer Extrakt	[%]	1,92	3,25
Wirklicher Extrakt	[%]	3,86	3,79
Scheinbarer Vergärungsgrad	[%]	82,8	
Wirklicher Vergärungsgrad	[%]	65,4	
Farbe	[EBC]	7,25	7,50
pH-Wert		4,55	4,68
Bittereinheiten	[EBC]	30,7	29,7
Gesamtstickstoff	[mg/l]	823	820
Gesamtstickstoff (12% Stw.)	[mg/l]	885	
Koagulierbarer Stickstoff	[mg/l]	22	24
Koagulierb. Stickstoff (12 %)	[mg/l]	24	
Polyphenole	[mg/l]	97	94
Ethanol	[% mas]	3,75	0,37
Ethanol	[% vol]	4,80	0,47

**Tabelle 9 Sensorische Bewertung der zwei Wochen bei 28 °C gealterten Biere**

Bier	Dia 1-1	Dia 1-2	Dia 1-3	Dia 1-4	Dia 1-5
Durchflußverhältnis $V_D$	4,50	5,13	5,51	5,75	6,34
Sensorische Gesamtqualität (nach VLB-Schema)	3,3	3,1	3,1	3,0	2,7
Beschreibung	Oxidation (Kartonaroma)	Oxidation (Kartonaroma) leicht sauer	Oxidation (Kartonaroma) leicht sauer	Oxidation (Kartonaroma) leicht sauer	Oxidation (Kartonaroma) deutlich sauer, leer

Proben bei 0 °C mitgeführt. Der Analysenumfang beschränkt sich auf die Verkostung.

Während bei allen warm gealterten Bieren eine klare Verschlechterung der geschmacklichen Qualität eintritt, bleiben die 0 °C-Biere nahezu unverändert. Unterschiede in der Geschmacksstabilität zwischen den unter verschiedenen Bedingungen dialysierten Bieren sind nicht feststellbar. Diese Zusammenhänge sind aus Tabelle 9 ersichtlich.

#### 4.2 Analysenwerte kommerziell hergestellter „alkoholfreier“ Biere im Vergleich mit den Versuchsbieren

Es sind verschiedene „alkoholfreie“ Biere größerer Brauereien analysiert und verkostet worden. Entsprechend dem Analysenprogramm der Versuchsbiere hat man neben der naßchemischen Bieranalyse die Konzentrationen der höheren Alkohole, der Ester sowie der kurzkettigen Fettsäuren gemessen. Auf diese Weise ist ein Vergleich mit „alkoholfreiem“ Versuchsbier aus der Dialyse möglich. Zur Ergänzung ist noch ein „alkoholfreies“ Fallstromverdampfungs-Versuchsbier aus einer kürzlich veröffentlichten Arbeit (11) angefügt worden. Die einzelnen Biere sind in den Tabellen mit Buchstaben gemäß dem in Tabelle 10 aufgeführten Schlüssel gekennzeichnet.

**Tabelle 10 Herstellungsschlüssel**

Schlüssel	Herstellungsprinzip des Bieres
Dia	Versuchsbier aus Dialyse, Versuch Dia 1-4
A	Dialyse
B	Dialyse
C	Dialyse
FV	Versuchsbier aus Fallstromverdampfung, Versuch FV 1-3
D	Fallstromverdampfung
E	Fallstromverdampfung
F	Fallstromverdampfung
G	Fallstromverdampfung
H	Fallstromverdampfung
<b>Biere aus sonstigen Herstellungsverfahren zum Vergleich</b>	
I	Umkehrosmose
J	Dünnschichtverdampfung (Centritherm)
K	abgebrochene Gärung
L	abgebrochene Gärung

Die folgenden Tabellen (Tab. 11 – 13) zeigen, daß die zum Vergleich herangezogenen Versuchsbiere sich von ihren Analysenwerten her im selben Bereich bewegen wie die „alkoholfreien“ Produkte namhafter Brauereien. Die Alkoholgehalte der Versuchsbiere liegen zwar am oberen Rand des Vergleichsfeldes, sind aber von den Werten der Handelsbiere oft nur wenige Hundertstel entfernt. Die Aromastoffgehalte der Versuchsbiere bewegen sich im mittleren Bereich der ausgewählten Vergleichsbiere. Bei den Verkostungen (Tabelle 14) stellen sich die beiden Versuchsbiere zu den kommerziellen Produkten als qualitativ absolut gleichwertig dar.

Die unterschiedlichen Herstellungsweisen der Biere haben einen deutlichen Einfluß auf die Verkostungsergebnisse. Es waren im Testfeld ausgeprägt leer schmeckende Biere, aber auch sehr harmonische Biere ohne aufdringliche Fehlgerüche vertreten, ferner Biere mit Würzgeschmack in unterschiedlich starker Ausprägung bis hin zu einem deutlich süßen Produkt. Ein nur geringer Würzgeschmack läßt auf die Anwendung eines Verfahrens schließen, bei dem ein partiell vergorenes Bier nachträglich entalkoholisiert wird. Dadurch verbessert sich die Vollmundigkeit gegenüber endvergorenen und danach entalkoholisierten Bieren. Dasselbe Ziel versuchen einzelne Brauereien durch den Verschnitt eines komplett entalkoholisierten Bieres mit Würze zu erreichen. Interessant ist die Strategie, durch ein Hopfenaroma den Geschmackshintergrund zu verstärken, wobei auch bis zu einem gewissen Grade eine Überdeckung von Würzgeschmack möglich ist.

#### 4.3 Kostenvergleich verschiedener Entalkoholisierungsverfahren in großtechnischer Ausführung

Der Kostenvergleich basiert auf Zahlenangaben, die von verschiedenen Großbrauereien über ihre jeweiligen Entalkoholisierungsanlagen gemacht worden sind. Auszuwerten sind dabei variable Kosten, Fixkosten, Art und Ausnutzungsgrad der Anlagen sowie Anfangs- und Endwerte des Alkoholgehaltes. Die variablen Kosten beinhalten alle Verbrauchsmaterialien wie Dampf, Wasser und Reinigungsmittel, aber auch Ersatzteile und anteilige Personalkosten, während sich die Fixkosten auf die Anlagenamortisation (als Eigenkapitalzinsen) beziehen.

Die im Kostenvergleich (siehe Tabelle 15) enthaltenen verschiedenen Produktionsmethoden umfassen sowohl Membranverfahren (Dialyse und Umkehrosmose) als auch die Vakuumverdampfung (Fallstromverdampfung). Bei der Fallstromverdampfung handelt es sich um eine zweistufige Anlage, deren Temperatur-Arbeitsbereich mit 37 °C in der ersten und 30 °C in der zweiten Stufe aber dem der Versuchsreihe FV 1 aus (11) entspricht. Die Angaben basieren jeweils auf den Daten von nur einer einzelnen Brauerei, es kann daher kein Anspruch auf Allgemeingültigkeit der Kostenkalkulation erhoben werden.

**5 Diskussion**

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der Bierqualität, die sich bei der Entalkoholisierung von Bier mittels Dialyse im Technikumsmaßstab unter Variation verschiedener verfahrenstechnischer Parameter ergibt.

**5.1 Charakteristika der mittels Dialyse hergestellten alkoholreduzierten Biere**

Bei den Versuchsreihen hat man zunächst den Einfluß des Durchflußverhältnisses, d. h. das Verhältnis der Flüssigkeitsvolumina auf beiden Seiten der Dialysemembran zueinander untersucht. Weitere Versuche befaßten sich mit Unterschieden im Heizdampfverbrauch des Dialysat-Vakuumverdampfers, wodurch die Abdampfung und damit der Alkoholgehalt des Dialysates variiert wurden. Schließlich war die Geschmacksstabilität der Biere Gegenstand von Überprüfungen.

Im Rahmen der Versuche mit *unterschiedlichen Durchflußverhältnissen* hat man aus einem Ausgangsbier mit einem Alkoholgehalt von 4,8% vol entalkoholisierte Biere hergestellt, die von 0,9% bis zu 0,5% vol Alkohol enthielten. Bereits an dieser Spanne kann man deutlich erkennen, daß die Dialysetechnik weniger gut zur Erzielung sehr geringer Alkoholgehalte im fertigen Bier geeignet ist als die Fallstromverdampfung, die Gegenstand einer aktuellen Veröffentlichung (11) gewesen ist.

Prinzipiell läßt sich der aus der Dialyse resultierende Alkoholgehalt des Bieres in eine mathematische Beziehung zum Durchflußverhältnis setzen. Im Gegensatz zur Fallstromverdampfung gibt es bei der verwendeten Dialyseanlage jedoch Störgrößen, die sich nicht vollständig eliminieren lassen. Da der Alkohol von Bier über die Dialysemembran zunächst ins Dialysat übergeht, um aus letzterem dann mittels Vakuumverdampfung entfernt zu werden, haben technisch unvermeidliche Schwankungen in der Abdamp-

Tabelle 11 Bieraromastoffe kommerzieller „alkoholfreier“ Biere							
	Dia [mg/l]	A [mg/l]	B [mg/l]	C [mg/l]	FV [mg/l]	D [mg/l]	E [mg/l]
Acetaldehyd	3,8	0,7	2,1	1,8	1,6	1,4	1,0
n-Propanol	0,6	1,6	1,3	1,1	0,6	1,3	0,4
i-Butanol	0,4	1,4	0,8	1,6	0,4	1,0	0,1
2-Methylbutanol(1)	0,5	2,6	1,6	2,3	0,7	1,5	0,2
3-Methylbutanol(1)	2,1	7,7	4,9	8,7	2,1	3,2	0,6
Phenylethanol	n. a.*	10,2	7,3	8,2	11,7	35,2	18,2
Isoamylacetat	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ethylformiat	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ethylacetat	< 0,1	0,9	1,4	1,2	< 0,1	0,9	< 0,1
Phenylethylacetat	< 0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,3
Summe höhere aliphatische Alkohole	3,6	13,3	8,6	13,7	3,8	7,0	1,3
Summe Ester	< 0,1	1,0	1,5	1,4	< 0,1	1,0	0,3
Ethanol [% mas]	0,42	0,05	0,41	0,23	0,40	0,32	0,26
Ethanol [% vol]	0,54	0,06	0,52	0,29	0,51	0,41	0,34
*n. a.: nicht auswertbar							
	F [mg/l]	G [mg/l]	H [mg/l]	I [mg/l]	J [mg/l]	K [mg/l]	L [mg/l]
Acetaldehyd	1,7	5,0	1,9	3,0	2,0	5,7	3,5
n-Propanol	0,4	0,7	0,9	1,5	0,4	1,6	1,3
i-Butanol	< 0,1	0,8	0,4	2,4	0,2	1,0	1,1
2-Methylbutanol(1)	0,2	1,8	0,7	3,0	0,4	1,2	1,1
3-Methylbutanol(1)	0,4	4,0	2,4	9,5	0,9	3,9	3,6
Phenylethanol	11,9	25,2	12,3	3,7	14,4	3,5	0,9
Isoamylacetat	0,1	0,8	< 0,1	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ethylformiat	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ethylacetat	0,2	8,3	0,6	1,5	0,3	1,0	0,8
Phenylethylacetat	< 0,1	< 0,1	0,1	0,2	0,1	< 0,1	0,2
Summe höhere aliphatische Alkohole	1,0	7,3	4,4	16,4	1,9	7,7	7,1
Summe Ester	0,3	9,1	0,7	1,9	0,4	1,0	1,0
Ethanol [% mas]	0,26	0,21	0,34	0,21	0,25	0,34	0,34
Ethanol [% vol]	0,33	0,27	0,43	0,27	0,32	0,44	0,44

Tabelle 12 Kurzkettige Fettsäuren kommerzieller „alkoholfreier“ Biere

	Dia [mg/l]	A [mg/l]	B [mg/l]	C [mg/l]	FV [mg/l]	D [mg/l]	E [mg/l]
Buttersäure (C4)	0,29	0,47	0,72	0,52	0,55	0,85	0,72
Isovaleriansäure (i-C5)	0,39	0,63	0,56	0,47	0,74	0,59	0,81
Valeriansäure (C5)	<0,01	0,05	0,03	0,02	<0,01	0,03	0,04
Capronsäure (C6)	1,07	0,91	0,66	0,58	1,36	0,62	0,90
Caprylsäure (C8)	2,56	1,70	1,08	1,14	2,41	1,44	1,49
Caprinsäure (C10)	0,21	0,39	0,11	0,12	0,52	0,23	0,32
Laurinsäure (C12)	<0,01	0,06	0,01	0,01	<0,01	0,02	0,04
Summe kurzkettige Fettsäuren	4,52	4,21	3,17	2,86	5,58	3,78	4,32
Ethanol [% mas]	0,42	0,05	0,41	0,23	0,40	0,32	0,26
Ethanol [% vol]	0,54	0,06	0,52	0,29	0,51	0,41	0,34
	F [mg/l]	G [mg/l]	H [mg/l]	I [mg/l]	J [mg/l]	K [mg/l]	L [mg/l]
Buttersäure (C4)	0,67	0,72	0,76	0,30	0,68	0,45	0,49
Isovaleriansäure (i-C5)	0,91	1,36	1,06	0,73	0,70	0,71	1,04
Valeriansäure (C5)	0,03	0,03	0,07	0,03	0,02	0,03	0,04
Capronsäure (C6)	1,15	2,07	1,66	0,28	1,53	0,51	0,50
Caprylsäure (C8)	2,14	4,03	3,24	0,53	2,99	0,99	0,60
Caprinsäure (C10)	0,27	0,40	1,41	0,12	0,48	0,22	0,23
Laurinsäure (C12)	<0,01	0,03	0,12	0,04	<0,01	0,05	0,05
Summe kurzkettige Fettsäuren	5,17	8,64	8,32	2,03	6,40	2,96	2,95
Ethanol [% mas]	0,26	0,21	0,34	0,21	0,25	0,34	0,34
Ethanol [% vol]	0,33	0,27	0,43	0,27	0,32	0,44	0,44

fung auch einen Einfluß auf den Wirkungsgrad der Dialyse. Die Auswirkungen unterschiedlicher Abdampfung und damit auch verschiedener Alkoholgehalte des Dialysates sind gezielt in der Versuchsreihe Dia 2 untersucht worden, spielen aber auch als Störgröße in den Versuchen mit unterschiedlichem Durchflußverhältnis (Dia 1) eine gewisse Rolle. Vor diesem Hintergrund wird eine gewisse Streuung der Meßwerte erklärlich. Obwohl die höheren Alkohole, die wichtige Bieraromastoffe darstellen, sehr stark abnehmen, kann festgestellt werden, daß die Verluste etwas geringer sind als bei entsprechender Fallstromverdampfung. Die Verluste nehmen, ebenso wie beim Ethanol, mit höherem Durchflußverhältnis zu. Von den untersuchten Estern waren nach der Dialyse bis auf eine Ausnahme keine detektierbaren Restmengen mehr vorhanden. Die kurzkettigen Fettsäuren verhalten sich bemerkenswerterweise bei der Dialyse ganz anders als bei der Fallstromverdampfung. Zum einen liegen sie nach der Dialyse in etwas höheren Konzentrationsbereichen vor als nach Fallstromverdampfung, zum anderen nimmt ihre Konzentration bei der Dialyse auch bei schärferer Entalkoholisierung nicht signifikant ab. Dies könnte zu den besonderen Geschmackscharakteristika dialysierter Biere beitragen, die im Anschluß diskutiert werden. Eine gewisse Staffelung des Fettsäurenverlustes nach Wasserlöslichkeit, wie sie oft bei Verdampfungsverfahren beobachtet werden kann, trat bei der Dialyse nicht ein. Offenbar ist die Permeation durch eine halbdurchlässige Membran im gewählten Molmassenbereich weniger selektiv als eine destillative Trennung. Die naßchemischen Bieranalysenwerte sind wenig auffällig. Bei der Verkostung offenbarten die Biere einen eigenständigen Cha-

rakter, der durch einen deutlichen, der Harmonie des Bieres eher abträglichen säuerlichen Geschmack gekennzeichnet war. Fehleraromen waren dagegen nicht vorhanden, was in Anbetracht der Verringerung der Konzentrationen der Bieraromastoffe durch die Dialyse auch nicht weiter verwunderlich ist. Insgesamt waren die Biere im Vergleich mit kommerziellen „alkoholfreien“ Bieren von guter Qualität, wenn man von der recht geringen Vollmundigkeit insbesondere der stärker entalkoholisierten Proben absieht. Dieses Problem existiert natürlich auch bei den kommerziellen Bieren in entsprechender Form.

Bei der *Variation des Heizdampfverbrauchs*, der zu unterschiedlicher Dialysat-Abdampfung und zu unterschiedlichen Alkoholgehalten des Dialysates führt, konnten anlagenbedingt nur drei Versuchsreihen mit geringer, mittlerer und hoher Abdampfung durchgeführt werden. Im untersuchten Bereich war eine nahezu lineare Abnahme sowohl des Ethanols als auch der höheren Alkohole mit größerer Abdampfung des Dialysats festzustellen. Über den gesamten möglichen Bereich dürfte diese Linearität allerdings kaum Bestand haben. Eine unendlich kleine Abdampfung entspricht nämlich der Dialyse von Bier gegen Bier gleicher Konzentration, wobei der Stoffübergang an der Dialysemembran gegen Null geht. Demgegenüber kommt eine unendlich große Abdampfung einer Dialyse gegen entsalztes Wasser gleich, bei der die Bierqualität durch überproportionale Verluste an Aromastoffen inakzeptabel wird, wie eine Vorabschätzung gezeigt hat. Die weiteren flüchtigen Bierkomponenten verhalten sich wie in den Dialyseversuchen mit variablem Durchflußverhältnis. Es

**Tabelle 13 Naßchemische Analyse kommerzieller „alkoholfreier“ Biere**

		Dia	A	B	C	FV	D	E
Stammwürze	[%]	4,63	7,36	5,28	4,34	4,54	5,31	5,92
Scheinbarer Extrakt	[%]	3,21	7,24	4,28	3,79	3,64	4,55	5,15
Wirklicher Extrakt	[%]	3,78	7,27	4,46	3,89	3,76	4,67	5,40
Farbe	[EBC]	7,50	6,75	9,5	7,25	7,75	8,00	6,00
pH-Wert		4,64	4,28	4,46	4,32	4,70	4,04	4,24
Bittereinheiten	[EBC]	29,5	26,1	28,0	33,0	28,7	23,6	20,7
Gesamtstickstoff	[mg/l]	818	605	875	566	830	711	564
Koagulierbarer Stickstoff	[mg/l]	21	20	18	9	24	10	8
Polyphenole	[mg/l]	102	124	192	146	119	97	146
Ethanol	[% mas]	0,42	0,05	0,41	0,23	0,40	0,32	0,26
Ethanol	[% vol]	0,54	0,06	0,52	0,29	0,51	0,41	0,34
		F	G	H	I	J	K	L
Stammwürze	[%]	4,79	3,80	4,86	4,60	6,43	7,02	7,08
Scheinbarer Extrakt	[%]	4,15	3,32	4,03	4,09	5,86	6,20	6,58
Wirklicher Extrakt	[%]	4,27	3,37	4,18	4,18	5,93	6,34	6,40
Farbe	[EBC]	5,75	5,25	11,00	7,00	6,50	5,75	7,75
pH-Wert		4,29	4,43	4,73	4,66	4,53	4,36	4,30
Bittereinheiten	[EBC]	41,4	29,2	31,2	27,7	31,2	32,8	25,2
Gesamtstickstoff	[mg/l]	828	827	864	711	896	456	568
Koagulierbarer Stickstoff	[mg/l]	17	13	22	8	9	2	2
Polyphenole	[mg/l]	136	134	173	124	162	70	70
Ethanol	[% mas]	0,26	0,21	0,34	0,21	0,25	0,34	0,34
Ethanol	[% vol]	0,33	0,27	0,43	0,27	0,32	0,44	0,44

sind in keinem der Versuche noch detektierbare Estermengen vorhanden und die kurzkettigen Fettsäuren nehmen von geringer zu großer Abdampfung teilweise gar nicht, teilweise nur sehr geringfügig ab. Die Gesamtmenge an kurzkettigen Fettsäuren entspricht der in den Dialyseversuchen mit variablem Durchflußverhältnis (Dia 1) gemessenen. In der Aromacharakteristik sind die Biere aus der Dialyse mit kleiner und mittlerer Dialysat-Abdampfung genau so bewertet worden wie die der Reihe Dia 1, nur das Bier Dia 2-3 mit der größten Dialysat-Abdampfung ist infolge seiner sehr geringen Vollmundigkeit, aber auch durch den in der Folge stärker hervortretenden säuerlichen Geschmack und die resultierende Disharmonie des Aromas nicht mehr akzeptabel. Bei diesem Bier handelt es sich um das mit dem niedrigsten Alkoholgehalt innerhalb der Dialyse-Versuchsreihen.

**5.2 Stärken und Schwächen der Dialyse**

Durch die Untersuchungen innerhalb dieser Arbeit sind charakteristische Stärken und Schwächen der Dialyse zum Zwecke der Entalkoholisierung von Bier klar hervorgetreten. Es konnte gezeigt werden, daß die Aufgabe, ein Bier sehr weitgehend zu entalkoholisieren bei der Dialyse bereits an die Grenze des sinnvollen Bereiches stößt. Ausgehend von einem Vollbier mit einem Alkoholgehalt von 5% vol läßt sich das Gebiet von 0,5% vol (= 90%) nur mit einem großen Durchflußverhältnis erreichen, wobei die Bierqualität den normalen Ansprüchen an ein „alkohol-

freies“ Bier zwar durchaus genügt, aber eine erhebliche Senkung der Leistung der Anlage und eine erhöhte Dialysat-Abdampfung die Kosten steigert. Wenn man eine mehr als neunzigprozentige Entalkoholisierung durchführen möchte, bleibt die Dialyse außen vor. Geht man aber nicht von einem Bier mit normalem Alkoholgehalt aus, sondern z. B. von einem nicht endvergorenen Produkt, dann kann man auch mit der Dialyse Biere herstellen, die deutlich weniger als 0,5% vol Alkohol enthalten.

Ein ganz wesentlicher Vorteil der Dialyse ist natürlich ihre Arbeitsweise ohne jegliche thermische Belastung des Produktes. Hier kommt es vielleicht nicht in erster Linie auf die Verfolgung des „Draft“-Gedankens an, der für eine Produktionsweise ohne Pasteurisation und sonstige Wärmebehandlungen steht, als vielmehr um die tatsächlich möglichen Unterschiede in der Geschmacksstabilität zwischen stärker und schwächer im Fallstromverdampfer thermisch vorbelasteten Bieren (11). Bei den Dialysebieren konnte eine tendenziell etwas bessere, von der Intensität der Entalkoholisierung unabhängige Geschmacksstabilität konstatiert werden. Auch das bei stärkerer Wärmebehandlung im Fallstromverdampfer aufgetretene leicht karamelartige Aroma ist bei Dialysebieren nicht zu finden. Ferner ist positiv hervorzuheben, daß durch die Dialyse etwas weniger Bieraromastoffe verlorengehen, was sich allerdings nicht signifikant in der Vollmundigkeit niederschlägt. Ein eindeutiger Nachteil der Dialyse ist der allgemein leicht säuerliche Charakter der resultierenden Biere. Hierzu trägt sicherlich vornehmlich der vergleichsweise geringere Verlust an kurzkettigen Fettsäuren bei.

Vergleicht man die „alkoholfreien“ Versuchsbiere (Alkoholgehalt ca. 0,5% vol) mit entsprechenden *kommerziellen Produkten*, so zeigt sich, daß die Versuchsbiere durchaus marktfähig wären. Ihre Analysenwerte, sowohl bei der herkömmlichen naßchemischen Bieranalyse als auch bei den Aromastoffen und flüchtigen Säuren liegen genau im Bereich der kommerziellen Biere. Die Verkostung zeigt die für das jeweilige Herstellungsverfahren typischen Geschmackscharakteristika auf. Eine Entalkoholisierung endvergorener Biere führt zu einem eher neutralen Aroma, verbunden mit verringerter Vollmundigkeit. Sowohl die beiden Versuchsbiere als auch einige kommerzielle Produkte sind durch diese Merkmale gekennzeichnet. Bei verschiedenen „alkoholfreien“ Handelsbieren kann dagegen ein mehr oder weniger starker Würzgeschmack festgestellt werden. Dieser tritt üblicherweise bei Herstellungsverfahren auf, die auf einer gehemmten oder unterbrochenen Gärung basieren. Ein nur leichter Würzgeschmack ist ein Indiz für eine weitergehende, aber trotzdem unvollständige Gärung. Um trotz der damit verbundenen erhöh-

ten Alkoholbildung im Endprodukt weniger als 0,5 % vol Ethanol zu erreichen, muß anschließend meist entalkoholisiert werden. Die so hergestellten Biere sind häufig vollmundiger als endvergorene und danach entalkoholisierte Produkte, da bei einer nur geringen Entalkoholisierung vergleichsweise weniger Aromastoffe verlorengehen und auch eine etwaige geringe Restsüße zur Vollmundigkeit beiträgt. Arbeitet man beim Maischen auf einen niedrigen Endvergärungsgrad hin, erhöhen die größeren Mengen an Dextrinen ebenfalls die Vollmundigkeit des Bieres.

Es bleibt festzuhalten, daß die nachträgliche Entalkoholisierung weitgehend vergorener Biere die derzeit geschmacklich anspruchsvollsten Biere hervorbringt und daß beide Versuchsbiere in der Verkostung einen Rang im oberen Mittelfeld der Auswahl von verschiedenen Handelsbieren einnehmen würden. Sie sind denjenigen Bieren geschmacklich überlegen, die mittels verringerter Ethanolbildung bei der Gärung produziert werden und daher einen Würzgeschmack aufweisen. Die bereits diskutierten Geschmacksfehler der Versuchsbiere wie fehlende Vollmundigkeit

**Tabelle 14 Verkostung kommerzieller „alkoholfreier“ Biere (gemäß VLB-Schema)**

	Dia	A	B	C	FV	D	E
Reinheit des Geruchs	4,0	3,5	3,0	3,5	3,5	4,0	3,0
Reinheit des Geschmacks	3,0	3,0	2,5	3,5	3,5	3,5	3,0
Intensität der Bittere	3,5	3,0	3,5	3,0	3,5	3,5	3,0
Qualität der Bittere	3,5	3,0	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Hopfenaroma	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0
Vollmundigkeit	2,5	2,5	3,5	3,0	2,0	2,0	3,0
Rezenz	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,0
Allgemeine Qualität	3,5	3,3	2,7	3,5	3,5	3,7	3,2
	F	G	H	I	J	K	L
Reinheit des Geruchs	3,5	3,5	3,5	3,5	4,0	3,0	2,5
Reinheit des Geschmacks	3,5	3,5	3,5	4,0	4,0	2,5	2,5
Intensität der Bittere	4,0	3,0	3,5	3,5	3,5	2,5	2,5
Qualität der Bittere	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	3,5	3,0
Hopfenaroma	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5
Vollmundigkeit	2,5	2,0	3,0	2,5	2,5	2,5	3,0
Rezenz	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0
Allgemeine Qualität	3,3	3,5	3,4	3,5	3,8	3,0	2,7

**Tabelle 15 Kostenvergleich verschiedener Bier-Entalkoholisierungsverfahren**

Produktionsmethode		Membranverfahren		Fallstromverdampfung
		Dialyse	Umkehrosiose	
Entalkoholisierung	[% vol]	4,9 → 0,4	4,8 → 0,4	4,9 → 0,4
Ausnutzungsgrad der Anlage	[%]	42	31	13
Variable Kosten	[DM/hl]	6,30	7,25	3,95
Fixkosten	[DM/hl]	5,89	7,00	17,15
Fixkosten berechnet auf einen Ausnutzungsgrad von 90%	[DM/hl]	2,75	2,41	2,48
Gesamtkosten	[DM/hl]	12,19	14,25	21,10
Gesamtkosten berechnet auf einen Ausnutzungsgrad von 90%	[DM/hl]	9,05	9,66	6,43

und beim Dialysebier ein leicht säuerlicher Charakter sind fast völlig gleichartig auch bei kommerziellen Bieren zu finden und werden offenbar am Markt akzeptiert. Dies bedeutet natürlich keinesfalls, daß geschmackliche Verbesserungen nicht nötig wären. Hier könnte die Vergärung bei größerer Stammwürzekonzentration und mit höherer Temperatur für mehr Aromastoffe im Ausgangsbier sorgen. Nach der Entalkoholisierung kann die Rückführung eines rektifizierten Aromakonzentrates zum Bier vorteilhaft sein. Eine weitere, allerdings potentiell mit höheren Kosten verbundene Variante stellt die nahezu vollständige Entalkoholisierung mittels Vakuumverdampfung dar, bei der das entstandene Produkt mit normalem alkoholhaltigen Bier bis auf einen Alkoholgehalt von 0,4% bis 0,5% vol verschnitten wird. Man erreicht damit ein Aromaprofil, welches von der unterschiedlichen Flüchtigkeit der Aromastoffe bei der Verdampfung weniger abhängig ist, wodurch sich vor allem der Gehalt an leichtflüchtigen Estern auf Werte oberhalb der Nachweisgrenze steigern läßt. Schließlich kann die Arbeitsweise mit verringertem Endvergärungsgrad der Würze (z. B. mittels Springmaischverfahren) ebenfalls zu einer erhöhten Vollmundigkeit beitragen.

Die Betrachtung der *Entalkoholisierungskosten* von Vakuumverdampfung und Membranverfahren ist schon aufgrund der Vielfalt der in der Praxis verwendeten Anlagenvarianten nicht einfach. Bei der Fallstromverdampfung unterscheidet man ein- und mehrstufige Konzepte, wobei die mehrstufigen Systeme erheblich teurer in den Fixkosten sind, aber weniger Energieeinsatz erfordern, was die variablen Kosten senkt. Auch Dialyseanlagen sind durch unterschiedliche Membranmodultechnik und z. B. durch die optionale Verwendung einer Dialysatrektifikation in ihrem Aufbau und in ihrer Kostenstruktur durchaus genauso heterogen wie Fallstromverdampfer.

Hinzu kommt, daß Brauereien, wie auch alle anderen Industrieunternehmen, prinzipiell sehr zögerlich mit der Herausgabe von internem Zahlenmaterial sind. Jegliche Angaben über die Herstellungs- und Entalkoholisierungskosten werden nur höchst selten an Dritte weitergegeben. Vor diesem Hintergrund ist es durchaus bemerkenswert, daß im Rahmen dieser Arbeit überhaupt ein Kostenvergleich zwischen den wesentlichen Entalkoholisierungsverfahren angestellt werden kann. Die geringe Datenmenge erlaubt dabei natürlich keinerlei statistische Bearbeitung oder gar Rückschlüsse auf die Gesamtheit der Unternehmen, die Bier entalkoholisieren.

Sowohl variable als auch Fixkosten sind vor einem Vergleich genau auf die jeweils einberechneten Komponenten zu prüfen, da sich sonst sehr leicht ein falsches Bild ergeben kann. Oft enthalten Angaben über variable Kosten nur die Verbrauchsmaterialien, Wasser- und Energieaufwände, aber weder Instandhaltungs- noch Arbeitskosten. Wenn die Fixkosten neben dem Aufwand für die eigentliche Entalkoholisierungsanlage noch weitere erforderliche Investitionen widerspiegeln, so z. B. den Aufwand für den nötigen Gebäudeausbau oder die Anschaffung von Nebenanlagen, wird ein Vergleich erschwert. Gerade Baumaßnahmen können kostenmäßig derartig unterschiedlich sein, daß sie die gesamte Kostenstruktur verfälschen. Etwaige Nebenanlagen wie eine Wasseraufbereitung (beispielsweise Entgasung und gegebenenfalls Entsalzung von Verdünnungswasser) dürfen nur anteilig berücksichtigt werden, wenn sie auch für andere Zwecke als bei der Entalkoholisierung von Bier Verwendung finden.

Bedingt durch die durchgehend sehr positive Marktentwicklung alkoholreduzierter Biere bis zum Anfang der neunziger Jahre haben sich die meisten deutschen Großbrauereien seinerzeit mehr oder weniger überdimensionierte Anlagen zur Bierentalkoholisierung angeschafft. Der Ausstoßrückgang in der zweiten Hälfte

dieses Jahrzehnts ließ diese Überkapazitäten noch erheblich anwachsen. Ein unterschiedlicher Ausnutzungsgrad bedingt aber ebenfalls unterschiedliche relative Kosten, sowohl bei den variablen als auch vor allem bei den Fixkosten. Im Falle der Fixkosten läßt sich eine rechnerische Korrektur ohne weiteres durchführen, die Unterschiede in den variablen Kosten (höherer Energieaufwand und Bierschwand je Hektoliter) lassen sich ohne umfangreiches weiteres Datenmaterial nicht auf höhere Ausnutzungsgrade übertragen.

Es darf nicht verschwiegen werden, daß die Fallstromverdampfung einerseits und die Membranverfahren (Dialyse und Umkehrosmose) andererseits sich nicht gleichermaßen gut für unterschiedlich große Anlagenleistungen eignen. In Anbetracht des zurückgegangenen Ausstoßes von „alkoholfreien“ und alkoholreduzierten Produkten spielt hier vor allem der Bereich kleiner Anlagen eine wichtige Rolle. Hier ist anhand von verschiedenen Werten aus der Praxis festzustellen, daß Fallstromverdampfer sich erst ab einer Stundenleistung von ca. 5 hl entalkoholisiertem Bier wirtschaftlich betreiben lassen. Dagegen existieren Membrananlagen, die mit z. B. nur 2 hl/h über mehrere Jahre profitabel betrieben worden sind; es sind sogar Dialysesysteme mit 0,5 hl/h verfügbar. Diesem Vorteil steht allerdings die Schwierigkeit gegenüber, für den Export in bestimmte islamische Länder den Alkoholgehalt des Bieres unter 0,05% zu senken. Für diese Anwendung ist zur Zeit nur in Form der Fallstromverdampfung eine technisch wie wirtschaftlich zufriedenstellende Lösung vorhanden.

Trotz der angesprochenen Sachverhalte, die einen Vergleich der Entalkoholisierungskosten verschiedener Systeme kompliziert gestalten, haben sich zwei grundlegende Zusammenhänge herauskristallisiert. Zum einen scheint die in allen drei betrachteten Fällen vorhandene erhebliche Überkapazität weit stärkere Auswirkungen auf die Gesamtkosten zu haben als der Unterschied zwischen den verschiedenen Systemen ausmacht. Zum anderen verändert sich die Situation ganz wesentlich, wenn die Fixkosten auf eine neunzigprozentige Auslastung umgerechnet werden. Wenn man für die jeweils unterschiedlichen Anlagentypen sinnvollen Stundenleistungen bei der Auslegung berücksichtigt, kristallisiert sich die Fallstromverdampfung als preiswerteste Alternative heraus, während die Membranverfahren jeweils Mehrkosten von mehreren DM/hl verursachen. Dabei ergibt sich als teuerste Variante die Umkehrosmose. Etwas preiswerter arbeitet die Dialyse, insbesondere durch den Wegfall der Hochdruck-Pumpeneinheit.

### 5.3 Abschlußbetrachtung

Es hat sich gezeigt, daß die Dialyse, auch im Vergleich mit der Fallstromverdampfung, eine geeignete Methode für die Entalkoholisierung von Bier darstellt. Trotzdem erzielen Biere, die durch einfachen Alkoholentzug aus Vollbieren mit normalem Alkoholgehalt hergestellt wurden, zwar eine für „alkoholfreie“ Biere ausgezeichnete sensorische Qualität, sie können aber bei weitem nicht die Güte des Ausgangsbieres erreichen. Diese Qualität ist aufgrund des unabdingbaren Verlustes am Geschmacksträger Ethanol aber auch überhaupt nicht erreichbar. Insbesondere läßt die Vollmundigkeit entalkoholisierter Biere sehr zu wünschen übrig. Zur Verbesserung dieser Situation wenden einige Brauereien Mischverfahren an, bei denen Würzen mit erhöhtem Gehalt an unvergärbaren Stoffen hergestellt und oft zusätzlich nur unvollständig vergoren werden. Diese alkoholärmeren, aber recht vollmundigen Biere haben nach der Entalkoholisierung eine größere Vollmundigkeit, lassen allerdings oft die erwünschte Frische und

Rezenz vermissen. Die entsprechenden Methoden sind im Literaturteil dieser Arbeit näher beschrieben. Manchmal setzt man zur Verbesserung der Vollmundigkeit und zur geschmacklichen Abrundung noch etwas Karamel- oder Farbmalt zur Schüttung oder dosiert Farbebier direkt ins „alkoholfreie“ Bier. Die Möglichkeiten der Arbeitsweise mit verringertem Endvergärungsgrad der Würze zur Erhöhung der Vollmundigkeit, der Vergärung bei größerer Stammwürzekonzentration und mit höherer Temperatur zur Erzielung größerer Aromastoffkonzentrationen im Ausgangsbier und der Rückführung eines rektifizierten Aromakonzentrates zum entalkoholisierten Bier sind bereits erwähnt worden.

Auch wenn „alkoholarme“ und „alkoholfreie“ Biere möglicherweise niemals ganz die hohe sensorische Qualität normal vergorener Vollbiere erreichen können, sind die mit den heute zur Verfügung stehenden Methoden der nachträglichen Entalkoholisierung erzeugten Biere eigenständige, qualitativ hochwertige Produkte, die auch in der Zukunft ihren ausbaufähigen Markt haben werden. Fallstromverdampfung und Dialyse stellen beide, jeweils im Rahmen ihres bevorzugten Anwendungsbereiches, zu deren Herstellung sehr gut geeignete Verfahren dar. Bei den Entalkoholisierungskosten erweist sich die Vakuumverdampfung als tendenziell preiswerter, was hauptsächlich auf den höheren Wartungsaufwand für Membranen und Hochdruckpumpen bei Dialyse und Umkehrosmose zurückzuführen sein dürfte.

## 6 Summary

**Zufall, C., and Wackerbauer, K.: The dealcoholisation of beer by dialysis – influencing beer quality by process engineering** — Monatsschrift für Brauwissenschaft 53, No 9/10, 164 – 179, 2000

### BC 20 General (Malting and brewing)

At the present time “alcohol-free” and low-alcohol beers are mainly produced by subsequent removal of the alcohol from partially or fully fermented beers. Alcohol diffusion through suitable membranes as well as evaporation under vacuum have become market-established methods. Dialysis has gained particular significance among membrane methods. All membrane systems for dealcoholisation of beer feature complete absence of thermal product stress. However, this does not automatically mean that membrane technologies are generally superior to alcohol evaporation and that they would on principle lead to low-alcohol and “alcohol-free” beers of higher quality. The paper to hand is a systematic review of the advantages and disadvantages of different working methods for the dealcoholisation of beer by means of dialysis. Indeed studies on the effects of dialysis on the quality of beer when producing low-alcohol and “alcohol-free” beers have already been published, but up until now no comparison has been made of the effects of the different process engineering parameters.

**Zufall, C., et Wackerbauer, K.: La désalcoolisation de la bière par dialyse – Influence du génie des procédés sur la qualité de la bière** — Monatsschrift für Brauwissenschaft 53, No 9/10, 164 – 179, 2000

### BC 20 Généralités ( Fabrication du malt et de la bière)

Aujourd’hui on produit les bières pauvres et sans alcool essentiellement par élimination de l’alcool en fin de procédé ou par des bières peu fermentées. La diffusion de l’alcool par des membranes appropriées a largement pu s’imposer sur le marché à côté de la technique de l’évaporation sous vide. Une grande importance parmi le procédés à membranes est le procédé par dialyse. Toutes les installations à membranes pour la désalcoolisation de la bière présentent une absence de charge thermique sur le produit. Ce fait ne doit pas signifier que le procédé à membranes est meilleur que celui de l’évaporation de l’alcool et que le procédé à membranes produirait de meilleures bières pauvre ou sans alcool. Le présent travail présente une description systématique des avantages et inconvénients de différentes méthodes de travail pour la désalcoolisation de la bière au moyen de la dialyse. Les résultats d’examens de l’influence de la dialyse sur la qualité de la bière pendant la fabrication de la bière pauvre ou sans alcool ont déjà été publiés. Toutefois une comparaison sur l’influence de différents paramètres du génie des procédés manquait jusqu’à ce jour.

## 7 Literatur

- Schmitz, F. J.: Theoretische Grundlagen der Dialyse zur Herstellung alkoholarmen Biere, Mschr. Brauerei **35**, 92 – 94, 1982.
- Narziß, L., Miedaner, H., Kern, E., und Düll, F.: Schankbiere, alkoholarme und alkoholfreie Biere – Technologie und Erscheinungsbild, Brauwelt **128**, 866 – 870, 916 – 926, 1988.
- Brenner, W. Beers for the future, MBAA Techn. Quart. **17**, 185 – 195, 1980.
- Schwinghammer, G.: Herstellung von alkoholfreien und alkoholreduzierten Bieren aus ausstoßreifem Vollbier, Brauindustrie **73**, 1222 – 1224, 1988.
- Attenborough, W. M.: Evaluation of processes for the production of low- and non-alcoholic beer, Ferment **1**, 40 – 44, 1988.
- Niefind, H. J., und Schmitz, F.J.: Neues Verfahren zur Alkoholreduzierung von Bier durch selektive Diffusion an Membranen, Proc. EBC Congr. 1981 (Kopenhagen), 599 – 606.
- Niefind, H. J.: Praktische Erfahrungen mit der Dialyse zur Herstellung alkoholreduzierter Biere, Mschr. Brauerei **35**, 95 – 97, 1982.
- Adler, K.-W.: Ein neues Verfahren zur Herstellung von alkoholvermindertem Bier, Brauwelt **144**, 443 – 446, 1974.
- Wucherpfennig, K., und Neubert, S.: Zur teilweisen Entalkoholisierung von Bier mittels Umkehrosmose, Brauwelt **116**, 1326 – 1332, 1419 – 1423, 1573 – 1579, 1976.
- Kieninger, H., Narziß, L., und Heil, G.: Über die Anwendung der umgekehrten Osmose zur Entalkoholisierung von Bier, Weihenstephaner **44**, 77 – 83, 1976.
- Zufall, C., und Wackerbauer, K.: Verfahrenstechnische Parameter bei der Entalkoholisierung von Bier mittels Fallstromverdampfung und ihr Einfluß auf die Bierqualität, Mschr. f. Brauwissenschaft **53**, 124 – 137, 2000.

(Manuskripteingang 4. 5. 2000)