

C. Zufall und K. Wackerbauer

# Verfahrenstechnische Parameter bei der Entalkoholisierung von Bier mittels Fallstromverdampfung und ihr Einfluß auf die Bierqualität

Die Herstellung „alkoholfreier“ und -armer Biere basiert heute hauptsächlich auf dem Prinzip der nachträglichen Alkoholentfernung. Die Technik der Verdampfung unter Vakuum hat sich neben der Diffusion des Alkohols durch geeignete Membranen am Markt weitgehend durchsetzen können. Die zur Entalkoholisierung von Bier günstigste Verdampfungstechnik dürfte die Fallstromverdampfung darstellen, da sie einen einfachen Anlagenaufbau mit einem hohen Wirkungsgrad vereinigt. Vermutlich in der Folge eines nicht immer objektiv begründbaren Trends zur Vermeidung jeglicher thermischer Belastung des Bieres hat man in den letzten Jahren in vielen Fällen Membrananlagen zur Entalkoholisierung von Bier installiert. Deren qualitativ durchaus meist zufriedenstellende Ergebnisse bedeuten aber keineswegs, daß die Membrantechnik den Verdampfungsverfahren grundsätzlich überlegen wäre und prinzipiell alkoholarme und -freie Biere höherer Güte hervorbrächte. In der vorhandenen Literatur gibt es zwar Untersuchungen über die Auswirkungen der Fallstromverdampfung auf die Bierqualität bei der Herstellung alkoholarmen und -freien Biere, ein Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher verfahrenstechnischer Parameter fehlt jedoch bislang. Die vorliegende Arbeit stellt eine systematische Aufdeckung der Vor- und Nachteile verschiedener Arbeitsweisen bei der Entalkoholisierung von Bier mittels Fallstromverdampfung dar.

BC 20 Allgemeines (Malz- und Bierbereitung)

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

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

## 1 Einleitung

Noch bis zum Anfang der neunziger Jahre wies das Marktsegment der „alkoholfreien“ und alkoholarmen Biere teilweise zweistellige Wachstumsraten auf. Zwar ist mittlerweile nach einer Stagnation des Absatzes teilweise ein Rückgang der Nachfrage zu verzeichnen, es ist aber festzuhalten, daß sich der Verkauf allein in Deutschland im Bereich von mehreren Millionen Hektolitern jährlich bewegt. Die Akzeptanz dieser Biere in der Bevölkerung ist in den letzten Jahren weiter gestiegen. Ferner stellt der ebenfalls in den letzten Jahren immer stärker gewordene Trend hin zu alkoholfreien Erfrischungsgetränken eine Möglichkeit dar, „alkoholfreie“ und alkoholarme Biere als kalorienarme Durstlöscher neu am Markt zu positionieren. Der nach wie vor recht bedeutende Ausstoß ließe sich durch die Entwicklung von zur Zeit noch ungenutzten Marktpotentialen, vor allem im Ausland, wieder erhöhen.

Autoren: Dr.-Ing. Carsten Zufall und Prof. Dr.-Ing. Karl Wackerbauer, Forschungsinstitut für Technologie der Brauerei und Mälzerei der Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB), Seestraße 13, 13353 Berlin

Die Herstellung alkoholarmen und „alkoholfreier“ Biere ist bereits aus der Zeit vor dem Ersten Weltkrieg bekannt. Damals sind Verfahren entwickelt worden, bei denen eine verringerte Bildung von Alkohol während der Gärung die Grundlage darstellt. Diese Biere zeichneten sich allerdings zwangsläufig durch einen oft süßlichen und meist würzeartigen Charakter aus. In der Folge sind diverse Verfahren zur nachträglichen Entfernung des Alkohols aus einem „normal“ vergorenen Bier entwickelt worden. Während der letzten zehn Jahre haben sich davon zwei verschiedene physikalische Verfahren etabliert, nämlich die Destillations- oder Verdampfungstechnik unter Vakuum und die Auftrennung über halbdurchlässige Membranen. Neben „alkoholfreien“ und alkoholarmen Bieren, die durch verringerte Alkoholbildung bei der Gärung hergestellt wurden, haben Biere, denen nachträglich der Alkohol entzogen worden ist, einen großen Marktanteil erreichen können.

## 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 destillativer Entfernung des Ethanols (Verdampfung) behandelt.

## 2.1 Atmosphärische Abdampfung des Alkohols

Die wohl älteste Publikation zu diesem Thema ist eine Patentschrift aus dem Jahre 1895 (1), die eine Destillation des alkoholhaltigen Bieres am Rückflußkühler und eine nachfolgende Neuimprägnierung des Produktes mit Kohlensäure zum Inhalt hat. Später ist auch die Wasserdampfdestillation für die Herstellung „alkoholfreier“ Biere patentiert worden (2).

Eine in früheren Zeiten sehr populäre und einfache Möglichkeit, den Alkohol nachträglich aus dem Bier zu entfernen, ohne zusätzliche Anlagen anschaffen zu müssen, ist die atmosphärische Kochung des alkoholhaltigen Bieres in einer Würzepfanne. So hat man beispielsweise während der Prohibition in den Vereinigten Staaten von Amerika Würzen mit niedrigem Endvergärungsgrad und ca. 7% Extraktgehalt normal vergoren und das resultierende Gärkellerbier in der Pfanne auf 80% des ursprünglichen Volumens eingedampft. Nach einem Wasserzusatz zur Auffüllung auf das ursprüngliche Volumen pumpt man das Produkt in den Lagerkeller zurück, wo es mit Kohlensäure imprägniert und wie normales Bier weiterbehandelt wurde (3).

Eine Verbesserung dieser Verfahrensweise stellt die Entalkoholisierung von Bier durch Einpumpen in eine kochende Wasservorlage in der Würzepfanne dar, die vor allem eine Überhitzung des Bieres und die damit verbundene Bildung unangenehmer Aromaten verhindern soll. Man stellt ein Bier mit einem Alkoholgehalt von 4,0% bis 4,5% vol her, welches in die erwähnte Kochendwasservorlage gegeben wird, die ungefähr 30% des Sudvolumens ausmacht. Bei der folgenden atmosphärischen Kochung dampft man diese 30% wieder ab und erhält ein Getränk mit weniger als 0,5% vol Alkohol. Qualitativ deutlich besser wird dieses Produkt, wenn man es mit 80% des obigen Sudvolumens an normalem Bier und 20% Kräusen verschneidet und bei 2 °C vergärt. Das resultierende Bier enthält dann aber auch 2,5% vol Alkohol (4).

## 2.2 Vakuumverdampfung

Die Anwendung eines Unterdrucks senkt die Siedetemperatur von Flüssigkeiten erheblich, so daß die Verdampfung in großtechnischen Anlagen statt bei 100 °C unter atmosphärischem Druck z. B. bei 40 bis 200 hPa absolutem Druck im Bereich von 30 bis 60 °C vorstatten gehen kann, was natürlich eine weit geringere thermische Belastung und eine wesentliche Verbesserung der Produktschonung bedeutet. Bereits im Jahre 1899 ist ein Vakuumverdampfungsverfahren zur Erzeugung von annähernd alkoholfreiem Bier unter Hindurchleitung von Kohlensäure patentiert worden (5). Die genannten Vorteile der Vakuumverdampfung lassen sich bereits bei der Verwendung einer einfachen Destillationsblase nutzen (6). Heutzutage befinden sich zur Entalkoholisierung von Bier vornehmlich Dünnschichtverdampfer mit mechanischer Erzeugung eines dünnen Flüssigkeitsfilms und Fallstromverdampfer in großtechnischem Einsatz.

Beim *Dünnschichtverdampfer* wird die abzdampfende Flüssigkeit als dünner Film über die Verdampferfläche geleitet. Durch die große Oberfläche ergibt sich eine extrem kurze Verweildauer im Verdampfer, was die Produktschonung nochmals verbessert. Als Beispiel eines Dünnschichtverdampfers, der auf mechanische Weise einen dünnen Flüssigkeitsfilm erzeugt, soll hier nur das in Brauereien recht weit verbreitete Centri-Therm-System (Fa. Alfa-Laval, Glinde) erwähnt werden, dessen Aufbau dem einer Tellerzentrifuge ähnelt.

Im Gegensatz zur Dünnschichtverdampfung kommt die *Fallstromverdampfung* ganz ohne bewegliche Teile aus, wenn man von der natürlich ebenfalls erforderlichen Vakuumpumpe absieht.

Es ergeben sich dadurch große Vorteile. Die Anlage wird nicht nur preiswerter im Aufbau, sondern auch einfacher in der Wartung. Es sind praktisch keine Verschleißteile vorhanden, und die bei der Dünnschichtverdampfung immer latente Gefahr des Sauerstoffeintrags über die diversen Dichtungen an beweglichen Teilen, ist bei der Fallstromverdampfung praktisch nicht existent. Der einfache Aufbau ist ebenso für die Reinigbarkeit von Bedeutung. Insgesamt sind die Anschaffungskosten als auch die Kosten für den laufenden Betrieb bei der Fallstromverdampfung geringer. Als Nachteil ist die etwas längere Verweildauer des Bieres zu sehen, die üblicherweise einige Sekunden bis zu einer Minute beträgt. Einen Dünnschicht-Fallstromverdampfer moderner Bauart zeigt Abbildung 1.

Als weitere Vorteile der Fallstromverdampfung gegenüber der Dünnschichtverdampfung erwähnt *Hochberg* (7) die Möglichkeit, die Wärmetauscherflächen sehr groß zu wählen, da sie nicht als bewegliche Teile ausgeführt sind. Diese größere Tauscherfläche ermöglicht es, die Temperaturdifferenz zwischen Produkt und beheizter Wandung zu minimieren. Der Autor weist zusätzlich auf die Möglichkeit hin, mit Fallstromverdampfern besonders niedrige Alkoholgehalte im Endprodukt erreichen zu können und gibt Werte unter 0,05% vol an. In einer späteren Arbeit wird ergänzend ausgeführt, daß „sehr niedrige Dampfverbrauchszahlen“ erreichbar seien und daß es auch bei langen Betriebszeiten nicht zu einer Verschmutzung der Heizflächen komme (8). Auch eine Eindampfung viskoser Produkte wie z. B. bei der Herstellung von Malzextrakt sei ohne weiteres durchführbar. Eine mehrstufige Ausführung der Fallstromverdampfung führt zu einer bedeutenden Energieersparnis. Dabei werden die Brüden der ersten Stufe als Heizdampf der zweiten Stufe verwendet usw. Ausgehend vom einstufigen System beträgt der Dampfverbrauch bei zweistufigen Anlagen nur mehr die Hälfte, bei dreistufigen sogar nur ein Drittel (8). Auch eine thermische Brüdenverdichtung kann den Frischdampf-

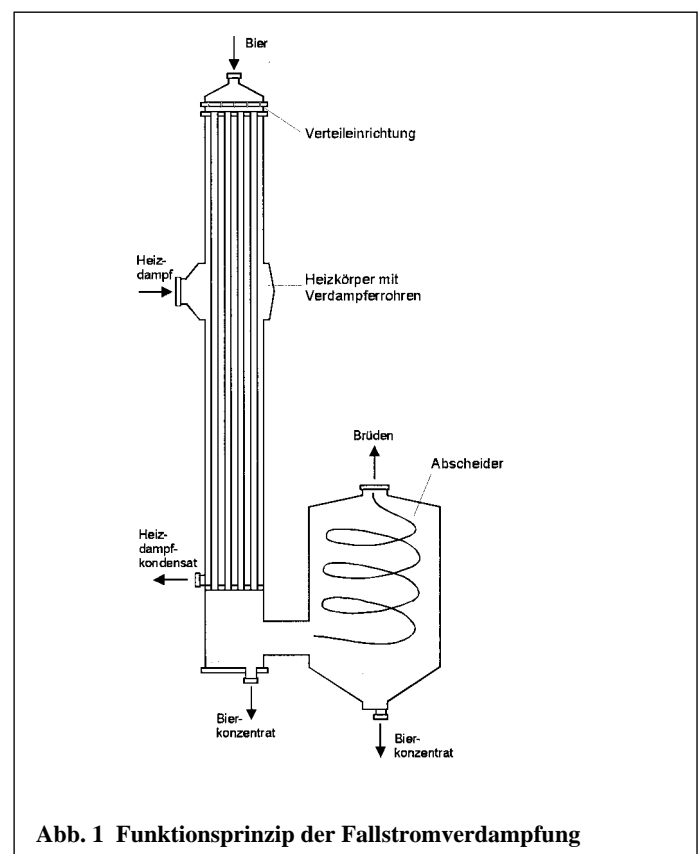


Abb. 1 Funktionsprinzip der Fallstromverdampfung

verbrauch weiter senken. Der Nachteil mehrstufiger Anlagen ist jedoch die Notwendigkeit, die erste Stufe mit relativ hohen Temperaturen zu betreiben, damit die Brüdentemperatur auch in der letzten Stufe noch über der Siedetemperatur des Bieres liegt. Üblich sind bei dreistufigen Anlagen Produkttemperaturen um 60 °C beim Eintritt in die erste Verdampferkolonne. In der dritten Kolonne liegt das Produkt mit 35 bis 40 °C vor.

In den letzten Jahren hat sich die Grenze zwischen den Begriffen der Dünnschicht- und der Fallstromverdampfung zunehmend verwischt. Im Rahmen der Verbesserung der Effizienz von Fallstromverdampfern konnte erreicht werden, daß an den Wandungen der Rohrbündel das Bier wie bei der Dünnschichtverdampfung in sehr dünnen Schichten herabläuft. In dieser Arbeit wird daher der Begriff „Dünnschichtverdampfung“ nur für Eindampfer mit beweglichen Rotoren oder Rührwerken verwendet, auch wenn moderne Fallstromverdampfer sich durchaus „Dünnschichtverdampfer“ nennen dürfen.

**2.3 Rearomatisierung entalkoholisierter Biere**

Die bisher bekannten Verfahren zur nachträglichen Entfernung des bei der Gärung gebildeten Alkohols sind nicht absolut selektiv. Das bedeutet, daß bei der Entfernung des Ethanol ebenfalls andere flüchtige Verbindungen, wie z. B. höhere aliphatische Alkohole und verschiedene Ester, aus dem Bier entnommen werden. Das Fehlen dieser Verbindungen macht sich im fertigen Bier durch einen zu geringen Aromahintergrund und nicht ausreichende Vollmundigkeit bemerkbar. Eine Verbesserung bzw. Verstärkung des Aromas kann durch nachträgliche Zugabe von „Bieraroma“ stattfinden, welches aus Resthefe gewonnen werden kann (9). Ein anderer Vorschlag zur Verbesserung der organoleptischen Qualität von entalkoholisierten Bieren basiert auf der Erhöhung der Mengen an Aromakomponenten im vorhinein durch geeignete gärungstechnologische Maßnahmen wie beispielsweise Gärung mit höherer Stammwürze (High Gravity Brewing), höheren Temperaturen und niedrigeren Sauerstoffmengen beim Anstellen (10).

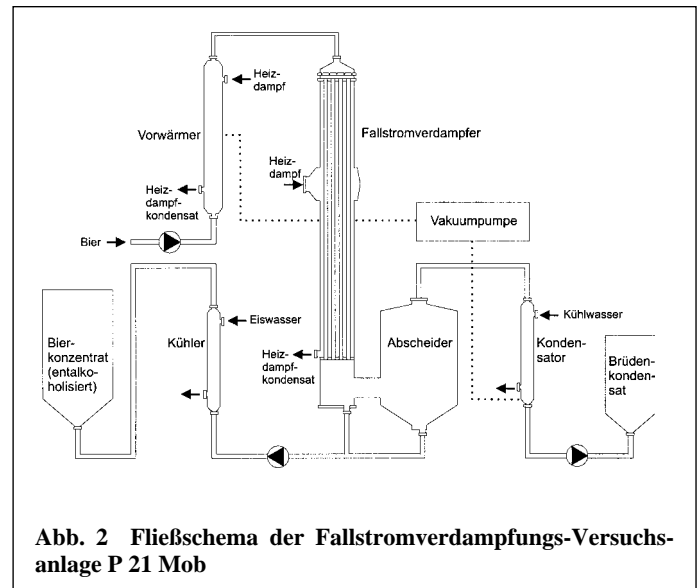
Eckert (11) berichtet über ein Entalkoholisierungsverfahren, bei dem das Bier zunächst mittels CO<sub>2</sub>-Hochdruckextraktion bei 100 bar und 35 °C von seinen Aromastoffen befreit wird. Die extrahierten Aromastoffe gehen aber nicht verloren, sondern werden aufgefangen. Durch einen weiteren Extraktionsvorgang entalkoholisiert man das Produkt und setzt ihm schließlich einen Teil des im ersten Schritt gewonnenen Aromakonzentrates wieder zu. Leider werden vom Autor keine weiteren Einzelheiten des Prozesses angegeben. Die dazugehörigen Untersuchungen haben gezeigt, daß die Schwellenwerte der untersuchten Aromakomponenten im „alkoholfreien“ Bier deutlich niedriger liegen als im alkoholhaltigen Ausgangsprodukt, wodurch eine Zugabe von 65% des Aromakonzentrates ausreichend sein soll, um eine vollständige Aromatisierung des „alkoholfreien“ Bieres zu erzielen.

**3 Arbeitsmethoden**

**3.1 Fallstromverdampfung mit der Versuchsanlage**

Für die Versuche hat man die Fallstromverdampfungs-Versuchsanlage P 21 Mob (für „mobil“) der Fa. Unipektin AG, Eschenz (Schweiz), eingesetzt, deren Aufbau aus Abbildung 2 hervorgeht.

Bevor das zu entalkoholisierende Bier in den eigentlichen Fallstromverdampfer gelangt, fließt es zunächst durch einen Vorwärmer, in dem bereits eine Aufheizung auf eine Temperatur stattfindet, die knapp über der Siedetemperatur des Systems liegt. Die



**Abb. 2 Fließschema der Fallstromverdampfungs-Versuchsanlage P 21 Mob**

Anlage wird zwecks Senkung der Siedetemperatur mit einem Druck betrieben, der erheblich niedriger ist als der Umgebungsdruck (Vakuum, von ca. 35 bis 200 hPa einstellbar). Vorwärmer, Fallstromverdampfer und Kondensator sind an eine gemeinsame Vakuumpumpe angeschlossen; die Druckverhältnisse sind daher in diesen drei Komponenten der Anlage identisch. Die erwähnten Drücke führen zu Produktsiedetemperaturen im Bereich von 30 bis 60 °C.

Im Kopf der Fallstromverdampfer-Säule befindet sich eine Verteileinrichtung, die dafür sorgt, daß das Bier an den Innenwandungen der Rohre als dünner, siedender Film herabfließt. Beim Herabfließen wird infolge des Siedevorgangs der Flüssigkeitsfilm immer dünner, je weiter sich das Bier dem unteren Ende des jeweiligen Rohres nähert. Entsprechend erhöht sich die Brüdenmenge kontinuierlich. Die Bewegung des Bieres wird nicht primär von der Schwerkraft bewirkt, sondern hauptsächlich durch die mit hoher Geschwindigkeit von 20 bis 80 Metern in der Sekunde ebenfalls nach unten strömenden Brüden. Das Bier verweilt somit nur wenige Sekunden im Verdampfer. Zur Beheizung der Verdampferrohre dient Prozeßdampf (Sattdampf).

Die Brüden gelangen, vom dortigen Unterdruck angesogen, in den Abscheider, wo sich ihre Strömungsgeschwindigkeit infolge einer Querschnittserweiterung verlangsamt. Es trennen sich die Brüden somit nahezu vollständig vom Bierkonzentrat. Die Brüden, bestehend aus Wasser, Alkohol, Kohlensäure und sonstigen flüchtigen Aromastoffen werden im folgenden Kondensator abgekühlt, wobei sich die kondensierbaren Bestandteile verflüssigen. Die restlichen Anteile, vor allem Kohlensäure und leichtflüchtige Aromastoffe, werden über die Vakuumpumpe ins Freie befördert. Das Bierkonzentrat passiert über eine Pumpe einen Nachkühler und gelangt in einen Tank, den man nach Beendigung der Entalkoholisierung unter Kohlensäuredruck setzt.

Während des Durchgangs des Bieres durch den Fallstromverdampfer findet eine mehr oder weniger starke Aufkonzentrierung statt. Man erhält also ein im Vergleich zur ursprünglichen Biermenge geringeres Konzentratvolumen, aber zusätzlich eine Menge an Brüdenkondensat. Die Summe aus Brüdenkondensat und Bierkonzentrat entspricht ungefähr der anfangs eingesetzten Biermenge. Da das Bierkonzentrat nicht nur entalkoholisiert, sondern auch eingeengt worden ist, muß es auf den wirklichen Extraktgehalt des ursprünglichen Bieres zurückverdünnt werden. Dazu

verwendet man entgastes Wasser mit einem Sauerstoffgehalt von weniger als 0,05 mg/l. Da das Bier im Verdampfer nahezu seine gesamte Kohlensäure verliert, ist es nötig, es nach der Verdünnung wieder aufzukarbonisieren.

Um die Fallstromverdampfer-Anlage P 21 Mob, die nicht speziell für die Entalkoholisierung von Bier in kleinen Mengen konzipiert worden ist, an den gewünschten Produktdurchfluß anzupassen, hat man nur vier Verdampferrohre für die Versuche geöffnet. Es ergibt sich ein Durchfluß von ca. 1 hl/h. Eine Schwierigkeit stellt die Erfassung der Durchflußmengen dar, weil die eingebauten Strömungskörper-Durchflußmesser in den Fällen nicht brauchbar sind, wo sich Kohlensäurebläschen in der Flüssigkeit bilden. Daher kontrolliert man die Verdampfung über die gebildete Menge an Brüdenkondensat unter Berücksichtigung des wirklichen Extraktes von eingesetztem Bier und Bierkonzentrat. Der Kondensatfluß wird am entsprechenden Durchflußmesser abgelesen und zusätzlich mittels Meßzylinder und Stoppuhr überprüft.

#### 4 Ergebnisse

Zur Untersuchung der Entalkoholisierung von Bier mittels Fallstromverdampfung (FV) sind folgende Versuchsreihen durchgeführt worden:

- Änderung der Abdampfung durch Variation der Heizdampfzufuhr (Reihe FV 1);
- Variation der Biereigenschaften durch Zusatz ihres eigenen Brüdenkondensates (Reihe FV 2);
- Versuche mit unterschiedlichen Abdampftemperaturen von 35 bis 60 °C (Reihe FV 3);
- Einfluß der Abdampftemperatur auf die Geschmacksstabilität des Bieres (Reihe FV 4).
- Außerdem hat man Zunahmen und Verluste an bestimmten Bierinhaltsstoffen während der Fallstromverdampfung rechnerisch erfaßt.

Alle Untersuchungen sind von einem Vollbier vom Typ „Pils“ mit einer Stammwürze von ca. 11,5% und einem Alkoholgehalt von rund 5% vol. ausgegangen. Um eine bestmögliche Produktschönung zu erreichen, ist immer nur mit einfachem Durchlauf gearbeitet worden, d. h. man hat das Bier nicht mehrfach hintereinander durch den Fallstromverdampfer geleitet. Es entsteht bei der Fallstromverdampfung ein entalkoholisiertes Bierkonzentrat, welches zunächst auf den ursprünglichen wirklichen Extraktgehalt rückverdünnt und außerdem aufkarbonisiert werden muß.

Die Versuche befassen sich vor allem mit dem Einfluß der verfahrenstechnischen Parameter Abdampfrate (FV 1) und Abdampftemperatur (FV 3, FV 4) auf die Bierqualität unter zusätzlicher Berücksichtigung der Geschmacksstabilität (FV 4). Der Prozeß der Fallstromverdampfung ist weiterhin anhand der Zunahmen und Verluste an Aromakomponenten überprüft worden. Ferner hat man versucht, durch Wiederzugabe von Brüdenkondensat zu entalkoholisiertem Bier dieses geschmacklich zu verbessern (FV 2).

Allgemein wird eine Verdampfung durch ihr *Eindampfverhältnis*  $V_e$  charakterisiert, welches aus den Volumina an ursprünglich eingesetztem Bier (B) und an nach der Verdampfung vorhandenem Bierkonzentrat (C) wie folgt berechnet wird:

$$V_e = \frac{B}{C}$$

Das Eindampfverhältnis  $V_e$  kann ebenfalls aus den Konzentrationen des eingesetzten Bieres (B) und des Bierkonzentrates (C) berechnet werden. Für die Konzentration setzt man z. B. den wirklichen Extrakt  $E_w$  ein, der in % mas angegeben wird:

$$V_e = \frac{E_w(B)}{E_w(C)}$$

Den Kehrwert des Eindampfverhältnisses bezeichnet man als *Abdampfung*.

#### 4.1 Versuchsreihe FV 1: Änderung der Abdampfung durch Variation der Heizdampfzufuhr

In dieser Versuchsreihe bleiben das angelegte Vakuum und der Zufluß des Bieres konstant. Man variiert allein den Heizdampfdruck, genauer gesagt die Druckdifferenz ( $\Delta p$ ) zwischen Ein- und Austritt des Dampfes. Damit ändern sich auch die damit zusammenhängende Temperatur im Heizdampfraum (zwischen den Verdampferrohren) und natürlich die Abdampfung. Zu untersuchende Größen sind die Verdampfung bzw. das Eindampfverhältnis und die Auswirkung der veränderten Verdampfung auf die Qualität des entalkoholisierten Bieres.

Folgende Parameter bleiben konstant:

Vakuum	50 ± 2 hPa
Abdampftemperatur	34,6 ± 0,7 °C
Bierzulauf	ca. 100 g/h

Variiert wird der Parameter

$\Delta p$ Heizdampf	45 – 120 hPa.
----------------------	---------------

Damit ändert sich auch die

Temperatur im Heizdampfraum und die Abdampfung	33 – 43 °C 31% – 54%.
---	--------------------------

In Tabelle 1 sind die Prozeßparameter der einzelnen Versuche innerhalb der Versuchsreihe FV 1 dargestellt. Aufgrund von Querschnittsveränderungen in der Bierzuleitung kam es zwischen den einzelnen Versuchen zu Abweichungen im Bierzufluß. Zeitliche Änderungen des Durchflusses im Verlaufe eines Versuches konnten verhindert werden.

Mit höherer Heizdampf-Druckdifferenz verstärkt sich auch die Abdampfung. In Abbildung 3 ist die Veränderung des Alkoholgehaltes von Bierkonzentrat und rückverdünntem entalkoholisiertem Bier in Abhängigkeit von der Abdampfung dargestellt. Es ist zu erkennen, daß eine bestimmte Abdampfung sich mit hohem Bestimmtheitsmaß einem Alkoholgehalt zuordnen läßt. Es ist also bis zu einem gewissen Grad möglich, anhand der Brüdenkondensatmenge auf den Bieralkoholgehalt zu schließen.

In den folgenden Diagrammen sind die Einflüsse der Abdampfung auf Bierkonzentrat und Brüdenkondensat zu erkennen. Abbildung 4 zeigt die Aufkonzentrierung des entalkoholisierten Bierkonzentrates, Abbildung 5 die Anreicherung von Alkohol im Brüdenkonzentrat mit stärkerer Verdampfung.

Im Rahmen der Betrachtung der Veränderungen der Bieraromastoffe durch die Fallstromverdampfung soll zuerst auf die höheren Alkohole eingegangen werden. Wie zu erwarten ist, nimmt der Gehalt an höheren Alkoholen mit steigender Abdampfung ab. Wie man aus Abbildung 6 ersehen kann, werden in der Summe nur 3% bis 9% der ursprünglichen Menge im rückverdünnten entalkoholisierten Bier wiedergefunden. Dabei fällt der Verlust an höherkonzentrierten Komponenten, wie z. B. den Isoamylalkoholen, naturgemäß prozentual stärker ins Gewicht als bei höheren Alkoholen, die schon im Ausgangsbier nur in geringen Mengen vorliegen.

Tabelle 1 Einfluß der Heizdampf-Druckdifferenz auf die Fallstromverdampfung						
Versuch #	$\Delta p$ Heizdampf	Bierzulauf	Brüden- kondensat	Ab- dampfung	Abdampf- temperatur	Vakuum
	[hPa]	[kg/h]	[kg/h]	[%] oder [kg/100 kg]	[°C]	[hPa]
FV 1-1	117	90,2	48,6	53,9	35,1	51
FV 1-2	100	86,2	44,4	51,5	35,1	50
FV 1-3	90	98,4	43,2	43,9	34,8	51
FV 1-4	75	93,1	37,7	40,5	35,2	52
FV 1-5	60	92,5	32,6	35,2	33,8	47
FV 1-6	50	90,8	29,9	32,9	34,7	50
FV 1-7	45	89,4	27,4	30,7	33,6	47

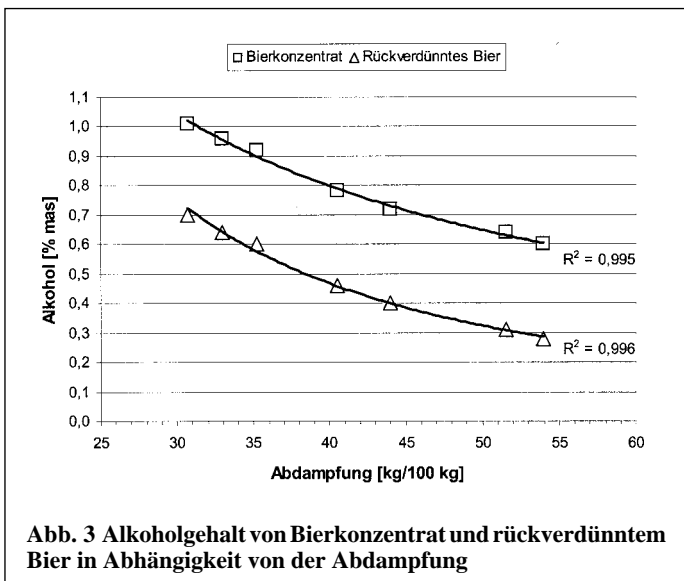


Abb. 3 Alkoholgehalt von Bierkonzentrat und rückverdünntem Bier in Abhängigkeit von der Abdampfung

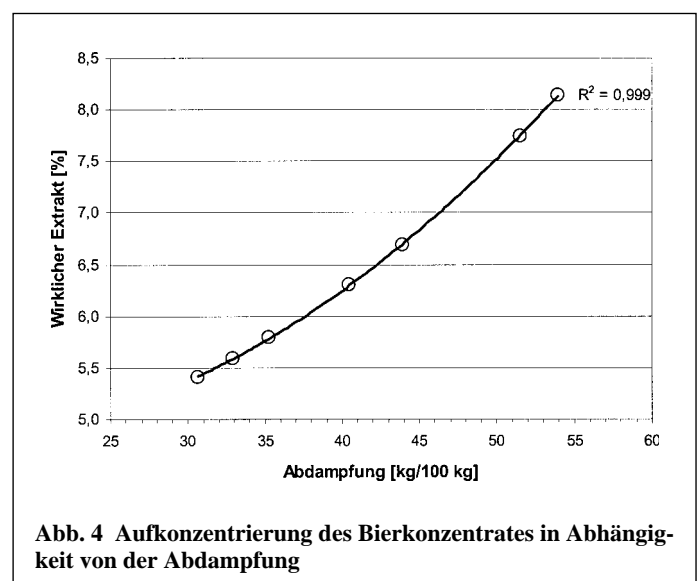


Abb. 4 Aufkonzentrierung des Bierkonzentrates in Abhängigkeit von der Abdampfung

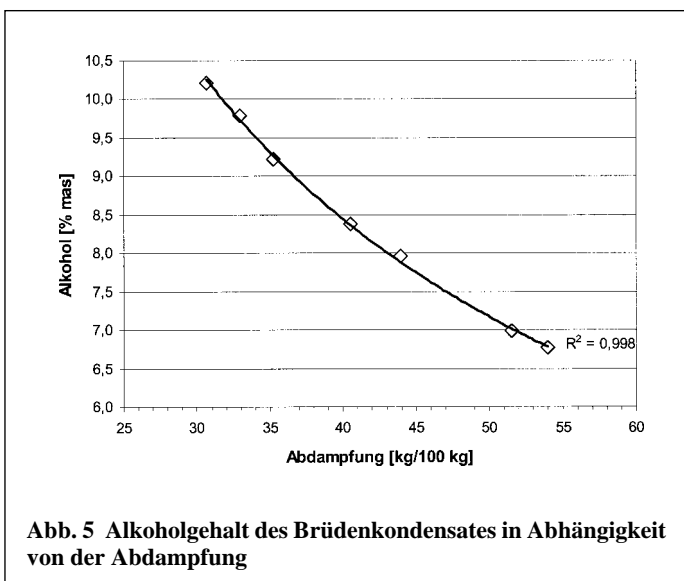


Abb. 5 Alkoholgehalt des Brüdenkondensates in Abhängigkeit von der Abdampfung

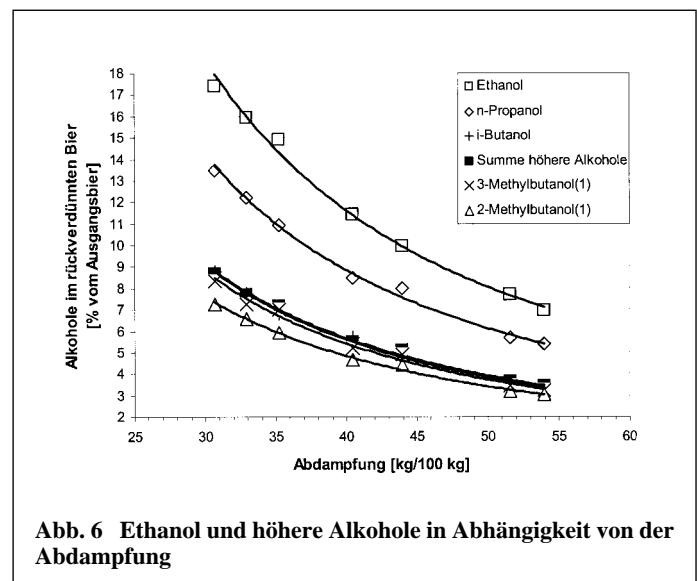


Abb. 6 Ethanol und höhere Alkohole in Abhängigkeit von der Abdampfung

Phenylethanol wird weit weniger stark abgedampft als die bisher besprochenen aliphatischen höheren Alkohole. Es lassen sich 58% bis 80% der eingesetzten Menge im rückverdünnten Bier nachweisen. Acetaldehyd, als Vorstufe des Ethanols eine in hohen Konzentrationen vorliegende Carbonylverbindung, findet sich im entalkoholisierten und rückverdünnten Bier in der gleichen Kon-

zentration wie im Ausgangsbier. Hier sei auf die Untersuchungen im Abschnitt 4.5 verwiesen.

Die untersuchten Ester Isoamylacetat, Ethylacetat, Ethylformiat und Phenylethylacetat liegen bei allen Abdampfpraten bereits im Bierkonzentrat unter der Nachweisgrenze von 0,1 mg/l, so daß sie

**Tabelle 2 Bieraromastoffe vor und nach Fallstromverdampfung und Rückverdünnung am Beispiel des Bieres FV 1-3**

	Ausgangsbier [mg/l]	„Alkoholfreies“ Bier [mg/l]
Acetaldehyd	1,5	1,6
n-Propanol	7,7	0,6
i-Butanol	9,5	0,4
2-Methylbutanol(1)	15,3	0,7
3-Methylbutanol(1)	42,4	2,1
Phenylethanol	15,8	11,7
Isoamylacetat	1,0	< 0,1
Ethylformiat	< 0,1	< 0,1
Ethylacetat	13,3	< 0,1
Phenylethylacetat	< 0,1	< 0,1
Summe höhere aliphatische Alkohole	74,9	3,8
Summe Ester	14,3	< 0,1
Ethanol [% mas]	4,02	0,40
Ethanol [% vol]	5,04	0,51

**Tabelle 3 Kurzkettenige Fettsäuren vor und nach Fallstromverdampfung und Rückverdünnung am Beispiel des Bieres FV 1-3**

	Ausgangsbier [mg/l]	„Alkoholfreies“ Bier [mg/l]
Buttersäure (C <sub>4</sub> )	0,59	0,55
Isovaleriansäure (i-C <sub>5</sub> )	1,28	0,74
Valeriansäure (C <sub>5</sub> )	0,05	< 0,01
Capronsäure (C <sub>6</sub> )	2,13	1,36
Caprylsäure (C <sub>8</sub> )	5,44	2,41
Caprinsäure (C <sub>10</sub> )	1,21	0,52
Laurinsäure (C <sub>12</sub> )	< 0,01	< 0,01
Summe kurzkettige Fettsäuren	10,70	5,58
Ethanol [% mas]	4,02	0,40
Ethanol [% vol]	5,04	0,51

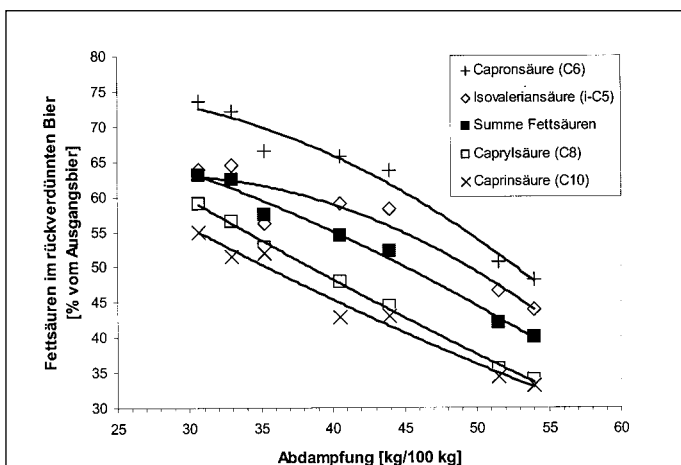
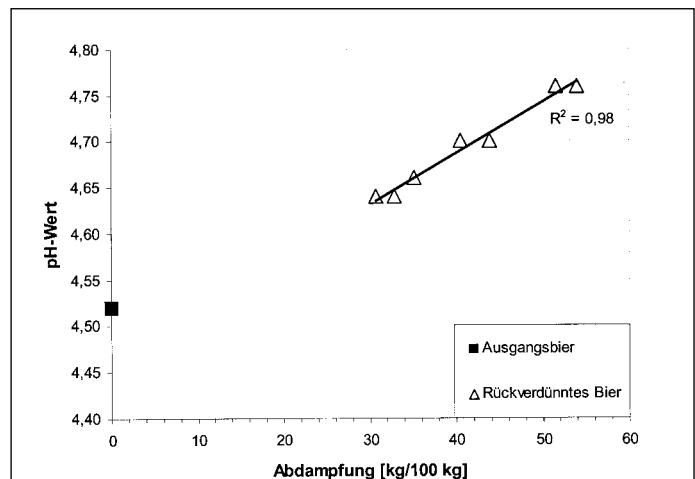
auch im rückverdünnten Bier nicht mehr detektierbar sind. Tabelle 2 zeigt als typisches Beispiel für die Veränderungen an Bieraromastoffen durch die Fallstromverdampfung das rückverdünnte Bier aus Versuch FV 1-3 mit einem Alkoholgehalt von 0,40 % mas. Dies entspricht 0,51 % vol, so daß dieses Bier genau im Bereich eines „alkoholfreien“ Produktes liegt. Verglichen wird mit dem Ausgangsbier.

Die Konzentration der Summe der kurzkettigen Fettsäuren des entalkoholisierten und rückverdünnten Bieres liegt im Bereich von 40% bis 60% des Ausgangsbieres. Wie die bereits besprochenen höheren Alkohole und Ester nehmen auch die Säuren mit stärkerer Abdampfung in ihren Konzentrationen ab. Valeriansäure und Laurinsäure sind nach der Fallstromverdampfung bei keiner der überprüften Abdampfpraten mehr nachweisbar. In Abbildung 7 ist das Verhalten der kurzkettigen Fettsäuren grafisch dargestellt.

Interessant ist die Feststellung, daß die längerkettigen und mithin weniger flüchtigen Fettsäuren im rückverdünnten Bier tendenziell prozentual geringer konzentriert sind als die kürzerkettigen. Dies deutet auf einen bedeutenden Einfluß der Wasserlöslichkeit flüchtiger Verbindungen auf ihre Abdampfung bei der Fallstromverdampfung hin. In Tabelle 3 werden die Fettsäuregehalte des „alkoholfreien“ Bieres aus Versuch FV 1-3, dessen Konzentrationen an Aromastoffen bereits in Tabelle 2 dargestellt wurden, mit denen des Ausgangsbieres verglichen.

Im Rahmen der naßchemischen Bieranalyse konnten folgende Veränderungen der Bierqualität infolge Fallstromverdampfung festgestellt werden:

- Es tritt eine Farbzunahme um 0,25 EBC bis 0,75 EBC ein, unabhängig von der Abdampfprate.
- Die Bittereinheiten nehmen leicht ab; sie betragen im Ausgangsbier durchschnittlich 31,2 EBC und im entalkoholisierten, rückverdünnten Bier durchschnittlich 28,3 EBC.
- Der pH-Wert der entalkoholisierten Biere erhöht sich proportional zur Abdampfprate von 4,64 bis auf 4,75; das Ausgangsbier liegt bei 4,52. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 8

**Abb. 7 Kurzkettenige Fettsäuren in Abhängigkeit von der Abdampfung****Abb. 8 Veränderung des Bier-pH-Wertes in Abhängigkeit von der Abdampfung**

**Tabelle 4 pH-Werte des Brüdenkondensates**

Abdampfung [kg/100 kg]	53,93	51,55	43,95	40,48	35,23	32,92	30,68
pH-Wert des Brüdenkondensates	3,78	3,77	3,79	3,80	3,75	3,71	3,77

dargestellt. Die pH-Erhöhung ist offenbar durch die Abdampfung flüchtiger Säuren begründet. Diese Säuren finden sich im Brüdenkondensat wieder, was sich anhand dessen niedrigen pH-Wertes zeigen läßt (siehe Tabelle 4).

Beim Gesamtstickstoff, beim koagulierbaren Stickstoff und beim Polyphenolgehalt bewegen sich die Unterschiede im Rahmen der Analysentoleranz.

In Tabelle 5 ist noch einmal das „alkoholfreie“ Bier aus Versuch FV 1-3 dargestellt, welches bis auf 0,51% vol entalkoholisiert worden ist. Diesmal werden dessen Daten aus der naßchemischen Bieranalyse denen des Ausgangsbieres gegenübergestellt. Die Balling-Formel führt bei alkoholreduzierten Bieren zu realitätsfernen Ergebnissen, ebenso hat eine sonst zu Vergleichszwecken vorteilhafte Umrechnung der Ergebnisse auf einen Stammwürzegehalt von 12% hier keinen Sinn. Die Berechnung der Vergärungsgrade bringt bei alkoholreduzierten Bieren ebenfalls keinen Nutzen.

Die Verkostung der mit unterschiedlichen Abdampfraten entalkoholisierten und danach rückverdünnten Biere deckt in allen Fällen einen Mangel an Vollmundigkeit auf. Die Vollmundigkeit fehlt besonders bei den Bieren FV 1-1 und FV 1-2, die mit sehr hoher Abdampfrate behandelt worden sind. Diese Biere weisen zusätzlich eine ganz leichte Aromanote auf, die man als karamel- bis brotkrustenartig beschreiben könnte. Bei allen Bieren ist als sensorische Verbesserung festzustellen, daß gewisse Geruchs- und Geschmacksfehler des Ausgangsbieres (hauptsächlich Jungbiergeschmack und Dimethylsulfid-Aroma) in den entalkoholisierten Proben vollständig verschwunden sind. Intensität und Qualität der Bittere der Fallstromverdampfungs-Produkte entsprechen denen des Ausgangsbieres. Insgesamt hat die Abdampfrate einen nur geringfügigen Einfluß auf die sensorische Bierqualität.

**4.2 Versuchsreihe FV 2: Variation der Biereigenschaften durch Zusatz ihres eigenen Brüdenkondensates**

Als Basis der Versuchsreihe FV 2 dienen die in der vorangegangenen Versuchsreihe FV 1 entalkoholisierten Biere. Durch gezielte Zugabe von Brüdenkondensat läßt sich der Alkoholgehalt und damit auch die Konzentration an Aromastoffen im Bier definiert erhöhen. Man verwendet immer das „eigene“ Brüdenkondensat, also jenes, welches beim Durchgang des jeweiligen Bieres durch den Fallstromverdampfer entstanden ist. Ziel der Versuche ist es, zu ermitteln, wie sich der Kondensatzusatz auf die Vollmundigkeit und die sonstigen geschmacklichen Eigenschaften des Bieres auswirkt.

Bei den Zusatzversuchen sind die beiden Biere FV 1-1 und FV 1-2 mit der höchsten Abdampfung wegen ihrer geschmacklichen Nachteile nicht mit einbezogen worden. Der Zielbereich des Zusatzes von Brüdenkondensat liegt bei einem Alkoholgehalt von 1% bis 2%. Wegen seines bereits ohne Zusätze recht hohen Alkoholgehaltes von 0,70% mas wurde Bier FV 1-7 ebenfalls aus dieser Versuchsreihe herausgenommen. Tabelle 6 zeigt die Gehalte der Biere an Alkohol und Aromastoffen.

Bei der abschließenden Verkostung kann bis zu einem Alkoholgehalt von 1,5% mas keine Verbesserung der Vollmundigkeit durch die Zugabe von Brüdenkondensat festgestellt werden, obwohl sich die Gehalte an höheren Alkoholen auf bis zu 31% des Ausgangswertes und die der Ester auf bis zu 16% des Ausgangswertes erhöhen. Erst wenn man den Alkoholgehalt auf 2% steigert, nimmt die Vollmundigkeit deutlich zu. Die Geschmackscharakteristik der Brüdenkondensatbiere entspricht weiterhin der der entalkoholisierten Biere ohne Zusätze. Die Vollmundigkeit des Ausgangsbieres kann in keinem der Versuche erreicht werden.

**Tabelle 5 Naßchemische Bieranalyse vor und nach Fallstromverdampfung und Rückverdünnung am Beispiel des Bieres FV 1-3**

		Ausgangsbier	„Alkoholfreies“ Bier
Stammwürze	[%]	11,57	4,54
Scheinbarer Extrakt	[%]	1,96	3,64
Wirklicher Extrakt	[%]	3,75	3,76
Scheinbarer Vergärungsgrad	[%]	83,1	
Wirklicher Vergärungsgrad	[%]	67,6	
Farbe	[EBC]	7,0	7,75
pH-Wert		4,52	4,70
Bittereinheiten	[EBC]	31,2	28,7
Gesamtstickstoff	[mg/l]	830	830
Gesamtstickstoff (12% Stw.)	[mg/l]	861	
Koagulierbarer Stickstoff	[mg/l]	24	24
Koagulierb. Stickstoff (12%)	[mg/l]	25	
Polyphenole	[mg/l]	107	119
Ethanol	[% mas]	4,02	0,40
Ethanol	[% vol]	5,04	0,51

**Tabelle 6 Analysen der entalkoholisierten und rückverdünnten Biere ohne und mit Zusatz ihres eigenen Brüdenkondensates (+ BK)**

		Versuch #							
		FV 1-4	FV 1-4 + BK	FV 1-3	FV 1-3 + BK	FV 1-5	FV 1-5 + BK	FV 1-6	FV 1-6 + BK
Alkohol	[% mas]	0,46	1,00	0,40	1,00	0,60	1,50	0,64	2,00
Summe der höheren aliphatischen Alkohole	[mg/l]	4,1	14,1	3,8	15,5	5,4	23,1	5,8	33,2
	[% vom Ausgangsbier]	5,5	18,8	5,1	20,7	7,2	30,8	7,7	44,3
Summe der Ester	[mg/l]	< 0,1	1,3	< 0,1	1,7	< 0,1	2,3	< 0,1	3,5
	[% vom Ausgangsbier]	0	9,1	0	11,9	0	16,1	0	24,5

**Tabelle 7 Einfluß der Vakuum-Einstellung auf die Fallstromverdampfung**

Versuch #	$\Delta p$ Heizdampf	Bierzulauf	Brüdenkondensat	Abdampfung	Abdampf-temperatur	Vakuum
	[hPa]	[kg/h]	[kg/h]	[%] oder [kg/100 kg]	[°C]	[hPa]
FV 3-1	95	101,5	35,8	35,3	59,2	202
FV 3-2	100	101,6	37,5	36,9	56,3	162
FV 3-3	90	101,9	36,5	35,8	54,8	163
FV 3-4	100	99,0	43,7	44,1	43,7	95
FV 3-5	90	102,5	41,2	40,2	44,0	94
FV 3-6	100	105,0	44,9	42,8	36,9	52
FV 3-7	90	103,4	42,3	40,9	34,1	52

#### 4.3 Versuchsreihe FV 3: Versuche mit unterschiedlichen Abdampf-temperaturen von 35 bis 60 °C

Der veränderliche Parameter dieser Versuchsreihe ist die Abdampf-temperatur. Die gewählten Abstufungen betragen:

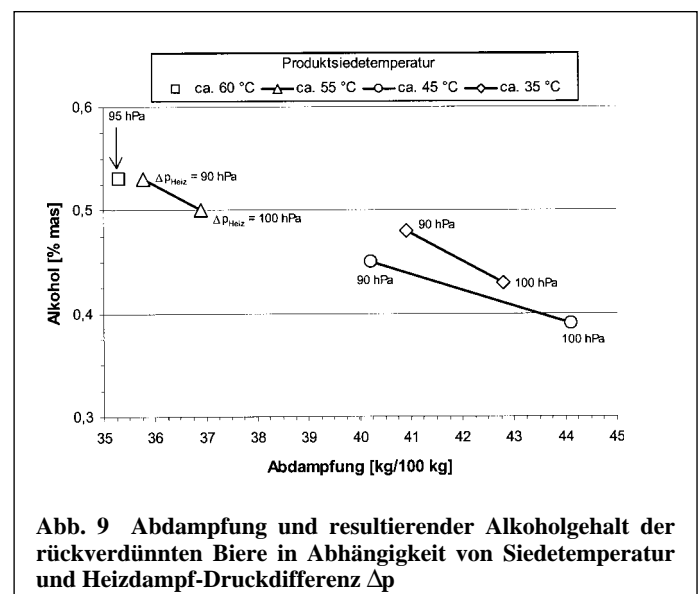
35 °C	45 °C	55 °C	60 °C
Versuche 6 und 7	Versuche 4 und 5	Versuche 2 und 3	Versuch 1

Um diese Variation zu erzielen, verändert man das Vakuum im Bereich von 50 bis zu 200 hPa. Die Abdampfung selbst, also die prozentual verdampfte Menge, wird durch Einregelung der Heizdampf-Druckdifferenz im Bereich vom 90 bis 100 hPa annähernd konstant gehalten. Ebenso bleibt der Bierzulauf konstant. Er beträgt durchschnittlich 102 kg/h bei Grenzwerten von 99 bis 105 kg/h. Tabelle 7 zeigt die Prozeßparameter der Versuche innerhalb der Reihe FV 3.

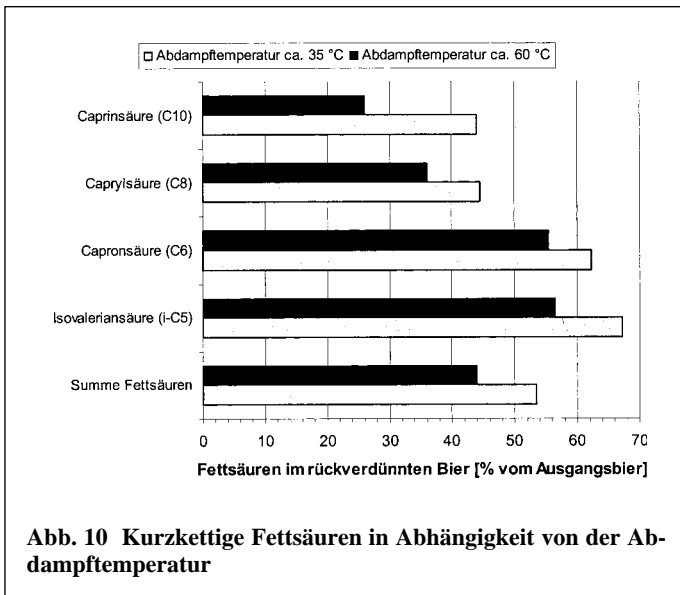
In der Versuchsreihe FV 3 hat man entalkoholisierte Biere hergestellt, die nach Rückverdünnung Alkoholgehalte zwischen 0,39% und 0,53% mas aufweisen. Es wird untersucht, inwieweit sich unterschiedliche Abdampf-temperaturen auf die Qualität der entalkoholisierten Biere auswirken. Allgemein sind durch eine Erhöhung des Druckes im System (geringeres Vakuum und damit höhere Siedetemperatur) geringere Abdampfungen zu beobachten, was mit dem unter diesen Bedingungen niedrigeren Dampfdruck des Bieres zu erklären ist (siehe Abb. 9).

Bei den Gehalten an höheren Alkoholen, Estern und anderen Bieraromastoffen im entalkoholisierten Bier ist kein signifikanter Einfluß der Abdampf-temperatur festzustellen. Die gemessenen

Konzentrationen liegen im gleichen Bereich wie bei Versuchsreihe FV 1. Im Durchschnitt enthalten die rückverdünnten entalkoholisierten Biere ungefähr 5% der höheren aliphatischen Alkohole des Ausgangsbieres. Der aromatische Alkohol Phenylethanol sowie das Acetaldehyd finden sich mit ca. 70% bis 75% des Ausgangsgehaltes wieder, beide ebenfalls unabhängig von der Abdampf-temperatur. Wie schon in der Versuchsreihe FV 1 sind



**Abb. 9 Abdampfung und resultierender Alkoholgehalt der rückverdünnten Biere in Abhängigkeit von Siedetemperatur und Heizdampf-Druckdifferenz  $\Delta p$**



die Ester bereits im Bierkonzentrat wieder bis unter die Nachweisgrenze von 0,1 mg/l abgedampft worden.

Die kurzkettigen Fettsäuren liegen in den Abdampftemperaturbereichen 45, 55 und 60 °C bei ungefähr 45% der Konzentration des Ausgangsbieres. Etwas mehr, nämlich 53% der ursprünglichen Menge, enthalten die bei 35 °C behandelten Biere. Hier ist also trotz höherer Gesamtabdampfung mehr an Fettsäuren im Bier geblieben. Die schon in der Versuchsreihe FV 1 gemachte Beobachtung, daß sich längerkettenige Fettsäuren leichter abdampfen lassen, kommt auch in Abbildung 10 zum Ausdruck. Während z. B. Caprinsäure (C<sub>10</sub>) nur noch zu ca. 40% wiedergefunden wird, sind von Capron- und Isovaleriansäure (C<sub>6</sub> bzw. i-C<sub>5</sub>) ungefähr 60% im rückverdünnten Bier zu finden. Hier spielt, wie bereits erwähnt, neben der reinen Flüchtigkeit der Verbindung auch die Wasserlöslichkeit, welche bei kürzerkettigen Fettsäuren erheblich besser ist, eine Rolle.

Die naßchemische Bieranalyse zeigt, daß es bei den Bierkonzentraten kaum Unterschiede im Alkoholgehalt gibt. Die Werte sind in den folgenden Tabellen dargestellt. Daraus und aus der gerin-

geren Abdampfung bei höheren Temperaturen (siehe Tabelle 7) ergibt sich, daß die rückverdünnten Biere mit steigender Abdampftemperatur einen tendenziell leicht höheren Alkoholgehalt aufweisen, weil man sie weniger stark verdünnen muß. Die Heizdampf-Druckdifferenz, die für das Temperaturgefälle zwischen Heizmedium und Produkt verantwortlich ist, hat allerdings auch einen Einfluß auf die Abdampfung und damit auch indirekt auf die erforderliche Menge an Verdünnungswasser (Vergleiche Tabelle 8 mit Tabelle 9).

Analog zum Alkoholgehalt hat der stärkere Wasserzusatz bei der Verdünnung der mit niedrigeren Abdampftemperaturen hergestellten Biere auch eine Auswirkung auf den pH-Wert der rückverdünnten Biere. Wie Tabelle 10 zeigt, haben die Brüdenkonzentrate nahezu identische pH-Werte, die rückverdünnten Biere weisen jedoch mit höherer Abdampfung und niedrigerer Abdampftemperatur höhere pH-Werte auf.

Die weiteren Bieranalysen der Biere mit 90 – 95 hPa Heizdampf-Druckdifferenz sind in Tabelle 11 dargestellt. Auffällig ist lediglich eine leichte Farbzunahme der Fallstromverdampfer-Biere um 0,25 bis 0,5 EBC gegenüber dem Ausgangsbier, außerdem eine geringfügige Abnahme der Bittereinheiten. Die weiteren Parameter sind nahezu gleich, wenn man die jeweiligen Analysefehler berücksichtigt. Entsprechendes gilt auch für Tabelle 12, die die Analyseergebnisse der Biere mit 100 hPa Heizdampf-Druckdifferenz zeigt.

Die Verkostung der mit unterschiedlichen Abdampftemperaturen erzeugten und rückverdünnten Biere hat interessanterweise keine signifikanten Unterschiede zutage gefördert. Ähnlich wie in Versuchsreihe FV 1 waren alle entalkoholisierten Biere durch einen Mangel an Vollmundigkeit und durch eine ganz schwach ausgeprägte karamelartige Note im Geruch gekennzeichnet. Der Geschmack war dagegen völlig einwandfrei. Intensität und Qualität der Bittere der Fallstromverdampfungs-Produkte sind mit denen des Ausgangsbieres identisch.

**4.4 Versuchsreihe FV 4: Einfluß der Abdampftemperatur auf die Geschmacksstabilität des Bieres**

Aufbauend auf der vorangegangenen Versuchsreihe FV 3 untersucht man nun die Geschmacksstabilität der in FV 3 mit unterschiedlichen Abdampftemperaturen entalkoholisierten Biere,

Parameter	59,2	54,8	44,0	34,1
Abdampftemperatur [° C]	59,2	54,8	44,0	34,1
Abdampfung [kg/100 kg]	35,3	35,8	40,2	40,9
Alkohol im Bierkonzentrat [% mas]	0,82	0,82	0,75	0,82
Alkohol im rückverdünnten Bier [% mas]	0,53	0,51	0,44	0,47

Parameter	59,2	56,3	43,7	36,9
Abdampftemperatur [° C]	59,2	56,3	43,7	36,9
Abdampfung [kg/100 kg]	35,3	36,9	44,1	42,8
Alkohol im Bierkonzentrat [% mas]	0,82	0,79	0,70	0,75
Alkohol im rückverdünnten Bier [% mas]	0,53	0,50	0,39	0,40

Parameter	59,2	56,3	54,8	44,0	43,7	36,9	34,1
Abdampftemperatur [° C]	59,2	56,3	54,8	44,0	43,7	36,9	34,1
Abdampfung [kg/100 kg]	35,3	36,9	35,8	40,2	44,1	42,8	40,9
pH-Wert des Brüdenkonzentrates	3,73	3,73	3,77	3,76	3,70	3,73	3,70
pH-Wert des rückverdünnten Bieres	4,65	4,66	4,67	4,72	4,74	4,76	4,75

**Tabelle 11 Bieranalyse der entalkoholisierten und rückverdünnten Biere im Vergleich mit dem Ausgangsbier ( $\Delta p$  Heizdampf 90 – 95 hPa)**

Versuch (Abdampftemperatur)		Ausgangs- bier	FV 3-1 (60 °C)	FV 3-3 (55 °C)	FV 3-5 (45 °C)	FV 3-7 (35 °C)
Stammwürze	[%]	11,42	4,62	4,66	4,44	4,58
Scheinbarer Extrakt	[%]	1,85	3,40	3,47	3,41	3,45
Wirklicher Extrakt	[%]	3,61	3,58	3,64	3,56	3,64
Scheinbarer Vergärungsgrad	[%]	83,8				
Wirklicher Vergärungsgrad	[%]	68,4				
Farbe	[EBC]	6,5	6,75	7,00	6,75	6,75
pH-Wert		4,52	4,65	4,67	4,72	4,75
Bittereinheiten	[EBC]	27,2	27,2	27,1	25,8	25,9
Gesamtstickstoff	[mg/l]	709	697	707	701	710
Gesamtstickstoff (12% Stw.)	[mg/l]	745				
Koagulierbarer Stickstoff	[mg/l]	29	30	31	29	27
Koagulierb. Stickstoff (12%)	[mg/l]	31				
Polyphenole	[mg/l]	155	170	168	165	168
Ethanol	[% mas]	4,02	0,53	0,51	0,44	0,47
Ethanol	[% vol]	5,05	0,66	0,65	0,55	0,60

**Tabelle 12 Bieranalyse der entalkoholisierten und rückverdünnten Biere im Vergleich mit dem Ausgangsbier ( $\Delta p$  Heizdampf 100 hPa)**

Versuch (Abdampftemperatur)		Ausgangs- bier	FV 3-2 (55 °C)	FV 3-4 (45 °C)	FV 3-6 (35 °C)
Stammwürze	[%]	11,42	4,59	4,29	4,45
Scheinbarer Extrakt	[%]	1,85	3,47	3,45	3,50
Wirklicher Extrakt	[%]	3,61	3,63	3,59	3,65
Scheinbarer Vergärungsgrad	[%]	83,8			
Wirklicher Vergärungsgrad	[%]	68,4			
Farbe	[EBC]	6,5	7,00	6,75	6,50
pH-Wert		4,52	4,66	4,74	4,76
Bittereinheiten	[EBC]	27,2	27,3	25,3	25,5
Gesamtstickstoff	[mg/l]	709	707	706	692
Gesamtstickstoff (12% Stw.)	[mg/l]	745			
Koagulierbarer Stickstoff	[mg/l]	29	29	32	32
Koagulierb. Stickstoff (12%)	[mg/l]	31			
Polyphenole	[mg/l]	155	166	161	167
Ethanol	[% mas]	4,02	0,50	0,39	0,40
Ethanol	[% vol]	5,05	0,64	0,50	0,51

**Tabelle 13 Fallstromverdampfer-Biere aus FV 3 für die Untersuchung der Geschmacksstabilität**

Bier	FV 3-1	FV 3-2	FV 3-4	FV 3-6
Abdampftemperatur [° C]	59,2	56,3	43,7	36,9
Alkoholgehalt [% vol]	0,66	0,64	0,50	0,51

wobei nur ein Bier von jeder Abdampftemperatur-Gruppe in die Untersuchung einbezogen wird (siehe Tabelle 13). Dazu finden Verkostungen der frischen gegen die zwei Wochen bei 28 °C in der Flasche gealterten Biere statt. Eine zusätzliche Untersuchung der Biere mit chemisch-technischen Meßmethoden zur Erfassung des Alterungszustandes, wie z. B. gaschromatographisch-massenselektiver Bestimmung der Alterungscarbonyle, Chemilumineszenz- und Elektronenspinresonanz-Messung usw. entfällt, da entsprechende Vergleichswerte für „alkoholfreie“ Biere fehlen. Eine Erarbeitung der entsprechenden Bewertungsmaßstäbe hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Im Vergleich der zwei Wochen bei 28 °C gealterten mit den bei 0 °C aufbewahrten Proben läßt sich ein klarer Einfluß der Abdampftemperatur erkennen. Während die zwei Wochen bei 0 °C

aufbewahrten Vergleichsbiere keine Änderungen erfahren, zeigen die bei 28 °C gealterten Biere einen mit höherer Abdampftemperatur stärker werdenden Alterungsgeschmack. Diese Zusammenhänge sind aus Tabelle 14 ersichtlich. Das Ausgangsbier wies vor der Entalkoholisierung einen Sauerstoffgehalt von 0,15 mg/l auf. Dieser etwas erhöhte Wert dürfte eine Beschleunigung der Alterungsvorgänge bewirkt haben.

#### 4.5 Zunahmen und Verluste an bestimmten Bierinhaltsstoffen während der Fallstromverdampfung

Zwar findet man das Volumen des eingesetzten Bieres in der Summe der Volumina von Bierkonzentrat und Brüdenkondensat wieder, trotzdem entweichen bei der Fallstromverdampfung einige Substanzen aus dem System. Es handelt sich dabei vor allem um sehr leicht flüchtige Bierinhaltsstoffe, um Kohlendioxid und um weitere Verbindungen, die unter den in der Anlage gegebenen Bedingungen nicht kondensierbar sind. Diese werden über die Vakuumpumpe ins Freie gesogen. Weiterhin ist es nicht auszuschließen, daß es trotz schonender Bedingungen im Fallstromverdampfer zu chemischen Reaktionen unter den Bierinhaltsstoffen kommt. Dabei besteht einerseits die Möglichkeit einer Neubildung und damit einer Zunahme der Konzentration einzelner

Bier	FV 3-1	FV 3-2	FV 3-4	FV 3-6
Abdampftemperatur [° C]	59,2	56,3	43,7	36,9
Sensorische Gesamtqualität (nach VLB-Schema)	2,2	2,8	3,1	3,5
Beschreibung	Starker Brotkrustengeschmack, Kartonaroma	Leichter Brotkrustengeschmack, leichtes Kartonaroma	Karamelartig im Geruch, leichtes Kartonaroma	Geruch leicht karamelartig, bessere Vollmundigkeit als 0 °C-Bier

Substanzen, andererseits werden für chemische Reaktionen Substanzen verbraucht, was zu einer Abnahme der Konzentration des jeweiligen Eduktes führt.

Allen diesen Verlusten und Zunahmen soll im Rahmen einer Mengenrechnung nachgegangen werden. Dabei werden die Anfangskonzentrationen im eingesetzten Bier mit denen im entalkoholisierten Konzentrat und im Brüdenkonzentrat verglichen. Die Konzentration einer Substanz im Ausgangsbier wird gleich 100% gesetzt. Der Rechenweg sei anhand des folgenden Beispiels verdeutlicht:

Abdampfung:	40 kg/100 kg
Konzentration der Substanz X im Ausgangsbier:	10 mg/l
Konzentration der Substanz X im Brüdenkonzentrat:	20 mg/l
Konzentration der Substanz X im Bierkonzentrat:	1 mg/l

Da bei der Analyse der Bieraromastoffe und anderer flüchtiger Komponenten die Probe ohnehin eingewogen wird, kann man vereinfachend annehmen:  $1\text{ l} \hat{=} 1\text{ kg}$ .

Es ergibt sich:

$$\text{Masse Brüdenkonzentrat} + \text{Masse Bierkonzentrat} \hat{=} 40\text{ kg} + 60\text{ kg} = 100\text{ kg}$$

$$\text{Im Ausgangsbier enthaltene Menge X: } 10\text{ mg/kg} \cdot 100\text{ kg} = 1000\text{ mg}$$

$$\text{Im Brüdenkonzentrat enthaltene Menge X: } 20\text{ mg/kg} \cdot 40\text{ kg} = 800\text{ mg}$$

$$\text{Im Bierkonzentrat enthaltene Menge X: } 1\text{ mg/kg} \cdot 60\text{ kg} = 60\text{ mg}$$

Nach der Fallstromverdampfung sind von ursprünglich 1000 mg der Substanz X also noch  $800 + 60 = 860\text{ mg}$  in Brüdenkonzentrat und Bierkonzentrat vorhanden. Die Veränderung (Zunahme oder, wie in unserem Beispiel, Verlust) berechnet sich wie folgt:

$$\text{Veränderung} = \frac{860\text{ mg} - 1000\text{ mg}}{1000\text{ mg}} \cdot 100\% = -14\%$$

Es ergibt sich aus dem Beispiel für die Substanz X ein Verlust von 14%. Die sich aus der Arbeitsweise des Fallstromverdampfers und aus Randbedingungen wie z. B. dem Luftdruck der Umgebung ergebenden Auswirkungen auf die einzelnen flüchtigen Stoffe sind nicht sicher abzuschätzen und können daher nicht berücksichtigt werden. Die folgende Tabelle 15 zeigt die Zunahmen bzw. Verluste an den untersuchten Substanzen und Substanzgruppen während der Fallstromverdampfung sowie die entsprechenden relativen Analysenfehler.

Ein Verlust bedeutet, daß ein Anteil der Substanz über die Vakuumpumpe ins Freie gesogen wird oder bei einer chemischen Umsetzung verbraucht wird. Eine Zunahme weist auf eine Neubildung der Substanz hin, allerdings ist dabei auch ein Gleichgewicht aus Bildung und Abbau bzw. Verlust denkbar.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist der Fehlerbereich der Analyse zu berücksichtigen. So liegt zwar bei den Fettsäuren eine leichte Verringerung und beim Phenylethanol eine leichte Steigerung der Menge vor, die beiden Werte liegen aber klar im bzw. am Fehlerbereich, so daß hier die Werte vor und nach Fallstromverdampfung als gleich anzusehen sind. Dagegen liegt im Falle der höheren Alkohole ein Verlust vor. Bei den Estern ist ein sehr großer Verlust zu beobachten. Diese Aussage stellt allerdings nur eine Näherung dar, weil die Konzentrationen der Ester nach der Fallstromverdampfung unterhalb der Nachweisgrenze liegen. Dies führt einerseits zu einem weit größeren Analysenfehler, andererseits könnte der Verlust an Estern noch deutlich höher sein, da in dieser Abschätzung lediglich die Nachweisgrenze als angenom-

Substanz bzw. Substanzgruppe	Zunahme (+) bzw. Verlust (-) bei der Fallstromverdampfung	Analysenfehler
	[% des Ausgangsgehaltes]	[%]
Summe kurzkettige Fettsäuren	-1	±2
Summe höhere aliphatische Alkohole	- 8	±2
Summe Ester	-36	±5
Acetaldehyd	+17	±5
Phenylethanol	+5	±4

mene Konzentration in die Berechnung eingeht. Acetaldehyd nimmt signifikant zu, es darf also von einer Bildung im Fallstromverdampfer ausgegangen werden.

## 5 Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der Fallstromverdampfung zur Entalkoholisierung von Bier unter Variation verschiedener verfahrenstechnischer Parameter im Technikumsmaßstab. Von besonderem Interesse war dabei der Einfluß der Entalkoholisierung auf die erzielbare Bierqualität.

Die Versuche umfassen die Veränderung der Abdampfung und die Variation der Abdampftemperatur. Die Auswirkungen des Zusatzes von eigenem Brüdenkondensat sind mit der Zielrichtung der Verbesserung von Vollmundigkeit und Aroma überprüft worden. Ferner hat man die Geschmacksstabilität von Fallstromverdampfer-Bieren untersucht.

Bei den Versuchen zur *Änderung der Abdampfung* sind Biere im Alkoholgehaltsbereich von 0,32% bis 0,88% vol hergestellt worden. Um ausgehend von einem Vollbier mit einem Alkoholgehalt von 5% vol ein „alkoholfreies“ Bier mit 0,5% vol zu erzielen, war eine Abdampfung von ca. 40% nötig. Insgesamt ließen sich eindeutige mathematische Beziehungen zwischen Abdampfrate und Alkoholgehalt sowie wirklichem Extrakt des Bieres erkennen. Allgemein konnte man einen zunehmenden Verlust an höheren Alkoholen und kurzkettigen Fettsäuren mit steigender Abdampfung feststellen. Von den höheren Alkoholen blieben ca. 3% bis 9%, von den Fettsäuren ca. 40% bis 65% der Ausgangsmenge übrig. Parallel zum Verlust an Fettsäuren stieg der pH-Wert an. Die Abdampfung anderer flüchtiger Verbindungen verlief uneinheitlich. So trat in allen Versuchen eine nahezu vollständige Austreibung der Ester ein, während z.B. die Konzentrationen von Acetaldehyd und mancher Fettsäuren vor und nach der Verdampfung im gleichen Bereich blieben. Wie bereits im Ergebnisteil angedeutet, läßt dieses Verhalten nur den Schluß zu, daß die Wasserlöslichkeit flüchtiger Verbindungen einen bedeutenden Einfluß auf ihre Abdampfung bei der Fallstromverdampfung hat. Bei Vorhandensein höherer Polarität können auch kleinere Moleküle in wäßriger Lösung einer Verdampfung großen Widerstand entgegenzusetzen und einen nur geringen Dampfdruck aufweisen. Beispielsweise verdankt das aus extrem kleinen Molekülen bestehende Wasser seinen hohen Siedepunkt den elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen positiven und negativen Ladungsschwerpunkten. Würden – wie bei unpolaren Molekülen – lediglich van-der-Waals-Kräfte wirken, dann hätte Wasser mit seiner Molekülmasse von 18 Dalton einen noch niedrigeren Siedepunkt als Gase wie Stickstoff ( $N_2 = 28$  Dalton) oder Sauerstoff ( $O_2 = 32$  Dalton). Bei der naßchemischen Bieranalyse zeigten sich nur geringfügige Veränderungen, wenn man von den Unterschieden absieht, die sich durch den Entalkoholisierungsprozeß selbst ergeben. Am auffälligsten war die Farbzunahme um 0,25 bis 0,75 EBC. Diese zeigte keine Abhängigkeit von der Abdampfung, deutet also eher ganz allgemein auf eine gewisse thermische Belastung bei der Fallstromverdampfung hin.

In der Verkostung kann den unterschiedlich stark entalkoholisierten Bieren eine sehr gute Qualität attestiert werden, wenn man sie mit „alkoholfreien“ Bieren vergleicht, die mittels abgebrochener Gärung produziert worden sind. Gegenüber dem Ausgangsbier sind jedoch große Unterschiede festgestellt worden. Insbesondere konnte die Vollmundigkeit nicht befriedigen, was zu allererst auf das Fehlen des Alkohols zurückzuführen ist. Auf diesen Geschmacksträger muß man bei einem alkoholreduzierten Bier natürlich im wesentlichen verzichten. Ferner sind die Konzentrationen

der verschiedenen Bieraromastoffe bei der Fallstromverdampfung erheblich verringert worden. Diese Verringerung trug dazu bei, daß die Biere keinen speziellen Fehlgeschmack aufwiesen. Am Ausgangsbier hatte man demgegenüber noch ein deutliches Dimethylsulfid-Aroma kritisiert. Es ist hervorzuheben, daß trotz der starken Veränderung des Aromaspektrums, z. B. durch den fast vollständigen Verlust der Ester, kein unharmonisches Geschmacksprofil auftrat. Die einzigen negativen sensorischen Veränderungen waren bei den stärker abgedampften Proben ein ganz leichtes Karamelaroma, welches sich ausschließlich im Geruch bemerkbar machte, und eine etwas stärker hervortretende nachhängende Bittere. Diese nachhängende Bittere war bereits im Ausgangsbier konstatiert worden, trat aber durch die geringere Vollmundigkeit und den schwächeren Aromahintergrund nach der Entalkoholisierung stärker hervor.

Um eine Verbesserung der Vollmundigkeit und auch der Aromacharakteristika zu erzielen, sind den entalkoholisierten Bieren unterschiedliche Mengen ihres eigenen *Brüdenkondensates* zugesetzt worden. Dabei hat man Alkoholkonzentrationen von bis zu 2% mas erreicht, wodurch sich die Menge an höheren Alkoholen wieder bis auf 44% und die der Ester wieder bis auf 25% der Ausgangsmenge erhöhte. Es konnte durch diese Maßnahme zwar eine merkliche Erhöhung der Vollmundigkeit erreicht werden, trotzdem blieb eine Diskrepanz zur Vollmundigkeit des Ausgangsbieres bestehen.

Da man nicht noch größere Mengen des Brüdenkondensates zusetzen kann, ohne den Alkoholgehalt wieder in die Nähe der Ausgangskonzentration zu bringen, bliebe als Verbesserungsmöglichkeit noch die Rektifikation des Brüdenkondensates. Dabei werden die verschiedenen flüchtigen Inhaltsstoffe des Brüdenkondensates voneinander getrennt, wobei man das Ethanol abtrennt und dem Bier z. B. nur die Aromastoffe und Säuren wieder zusetzt. Ob die Vollmundigkeit des Ausgangsbieres selbst durch die komplette Rückführung aller flüchtigen Komponenten erreicht werden kann, ist allerdings aufgrund der Mengenverhältnisse mehr als fraglich. Die flüchtigen Stoffe machen in einem Vollbier zusammen ungefähr 200 – 300 mg/l aus, während die Alkoholmenge etwa 40 000 mg/l beträgt.

In den Versuchen mit *unterschiedlicher Abdampftemperatur* im Bereich von 35 bis 60 °C sind Biere mit Alkoholgehalten von 0,50% bis 0,66% vol hergestellt worden. Aufgrund der unterschiedlichen Abdampfung und des daraus folgenden unterschiedlich starken Wasserzusatzes bei der Rückverdünnung ergab sich bei höherer Abdampfung, d. h. bei niedrigeren Abdampftemperaturen und höherem Wasserzusatz, ein höherer pH-Wert des Bieres. Neben einer geringen Farbzunahme von 0,25 bis 0,5 EBC-Einheiten zeigten die Ergebnisse der naßchemischen Bieranalyse keine signifikanten Veränderungen auf. Von den flüchtigen Verbindungen wurden die höheren Alkohole unabhängig von der Temperatur auf ca. 5% der Ausgangsmenge reduziert, die kurzkettigen Fettsäuren auf durchschnittlich 45% bis 53%, wobei die Verluste bei höheren Abdampftemperaturen (45 bis 60 °C) größer waren als bei 35 °C. Erneut wurden die Ester bis unter die analytische Nachweisgrenze abgedampft, während Acetaldehyd deutlich über 70% des Ausgangswertes blieb.

Die Verkostung konnte unerwarteterweise keine nennenswerten Unterschiede zwischen den einzelnen Abdampftemperaturen zutage fördern. Die Biere waren, ähnlich denen aus der Versuchsreihe FV 1, durch einen Mangel an Vollmundigkeit und zusätzlich durch ein ganz schwaches karamelartiges Aroma gekennzeichnet. Dabei war die Karamelnote wiederum ausschließlich im Geruch zu bemerken, während der Geschmack nicht auffällig war. Inten-

sität und Qualität der Bittere der Fallstromverdampfungs-Produkte waren mit denen des Ausgangsbieres identisch.

Demgegenüber konnte ein Einfluß der Abdampftemperatur auf die *Geschmacksstabilität* konstatiert werden. Obwohl in frischem Zustand keine sensorischen Unterschiede auftraten, wurde die Geschmacksstabilität mit zunehmender Abdampftemperatur schlechter. Es zeigte sich in den Verkostungen der forciert geterten Biere, die mit höheren Abdampftemperaturen entalkoholisiert worden waren, jeweils ein stärkerer Alterungsgeschmack. Dies ist für die Praxis von erheblicher Bedeutung, speziell weil in modernen Verdampferanlagen meist mehrstufig und dabei auch in Teilen der Anlage häufig mit Abdampftemperaturen von über 45 °C gearbeitet wird. Vor dem Hintergrund der gewünschten Geschmacksstabilität sollte die Wirtschaftlichkeit der Anlage (die bei höheren Temperaturen besser wird) keinesfalls die Priorität gegenüber der Bierqualität eingeräumt bekommen. Durch eine konsequente Senkung des Sauerstoffgehaltes im Ausgangsbier unter 0,1 mg/l sollte sich die Geschmacksstabilität trotz thermischer Belastung bei der Fallstromverdampfung noch weiter verbessern lassen. Die Kombination von niedrigem Sauerstoffgehalt und geringer thermischer Belastung bringt außerdem eine Verringerung des Karamelgeschmacks und der Farbzunahme mit sich.

*Mögliche Neubildungen und mögliche Verluste flüchtiger Stoffe* im Fallstromverdampfer sind mit einer Mengenermittlung in Bierkonzentrat und Brüdenkondensat erfaßt worden. Bei den höheren Alkoholen ergab sich ein geringfügiger Verlust von nichtkondensierbaren Stoffen über die Vakuumpumpe, bei den kurzkettigen Fettsäuren konnten die abgedampften Anteile nahezu vollständig im Brüdenkondensat wiedergefunden werden. Ebenso ohne nachweisbare Neubildung bzw. Verlust verlief die Fallstromverdampfung beim Phenylethanol. Die Ester, die aufgrund ihrer großen Flüchtigkeit fast vollständig aus dem Bier abgedampft worden waren, sind auch nicht vollständig kondensierbar, wodurch ein Verlust in Höhe von 36% zustandekommt. Interessanter ist das Verhalten des Acetaldehyds. Hier hat man gegenüber der Ausgangsmenge nach der Verdampfung eine 17%ige Erhöhung festgestellt, die klar über der Analysentoleranz von 5% liegt. Es darf also von einer Neubildung von Acetaldehyd ausgegangen werden. Acetaldehyd stellt in der Gärung die Vorstufe des Ethanol dar und wird durch die Pyruvat-Decarboxylase aus Brenztraubensäure gebildet. Dieses Hefeenzym ist allerdings während der Entalkoholisierung nicht mehr aktiv, so daß die Zunahme des Acetaldehyds mit dieser Reaktion nicht erklärt werden kann. Eine Oxidation von Ethanol ohne das zuständige Enzym Alkohol-Dehydrogenase ist energetisch sehr schwierig und überdies unter den anaeroben Bedingungen im Fallstromverdampfer undenkbar. Als wahrscheinlichster Bildungsweg bleibt daher noch die Spaltung von während der Gärung aus Acetaldehyd und Schwefeldioxid, einem Gärprodukt, gebildeten Acetaldehyd-Bisulfit-Additionskomplexen. Diese Komplexverbindungen liegen in jedem gegorenen Bier vor und werden z. B. im Laufe der Bieralterung oxidativ oder thermisch gespalten, so daß Acetaldehyd freigesetzt wird. Unter erhöhten Temperaturen und bei starker Abdampfung flüchtiger Gase (z. B. Schwefeldioxid) ist eine merkliche Erhöhung der Acetaldehydmenge im Bier auf diesem Wege durchaus denkbar.

Es konnte gezeigt werden, daß es mit der Fallstromverdampfung vergleichsweise einfach durchführbar ist, ein Bier sehr weitgehend zu entalkoholisieren. Ausgehend von einem Vollbier mit einem Alkoholgehalt von 5% vol läßt sich das Gebiet von 0,5% vol (90%ige Entalkoholisierung) problemlos erreichen, wobei die Bierqualität den normalen Ansprüchen an ein „alkoholfreies“ Bier durchaus genügt. Die gute Eignung der Fallstromverdampfung für

weitgehende Entalkoholisierungen stellt allerdings keine Beschränkung auf diesen Anwendungsfall dar. Ganz im Gegenteil sind auch die weniger stark abgedampften Biere von guter Qualität.

Ein gewisser Nachteil der Fallstromverdampfung ist natürlich die Verbindung ihrer Arbeitsweise mit einer thermischen 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 in der Versuchsreihe FV 4 festgestellten Unterschiede in der Geschmacksstabilität zwischen stärker und schwächer im Fallstromverdampfer thermisch vorbelasteten Bieren. Auch das bei stärkerer Wärmebehandlung im Fallstromverdampfer aufgetretene leicht karamelartige Aroma soll hier nochmals erwähnt werden.

Es bleibt festzuhalten, daß die nachträgliche Entalkoholisierung weitgehend vergorener Biere die derzeit geschmacklich anspruchsvollsten Biere hervorbringt. Sie sind denjenigen Bieren geschmacklich überlegen, die mittels verringerter Ethanolbildung bei der Gärung produziert werden und daher einen Würzegehalt aufweisen. Die bereits diskutierten Geschmacksfehler der Versuchsbiere wie fehlende Vollmundigkeit 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 ließe. Schließlich kann die Arbeitsweise mit verringertem Endvergärungsgrad der Würze (z. B. mittels Springmaischverfahren) ebenfalls zu einer erhöhten Vollmundigkeit beitragen.

## 6 Summary

**Zufall, C., and Wackerbauer, K.: Process engineering parameters for the dealcoholisation of beer by means of falling film evaporation and its influence on beer quality** — Monatsschrift für Brauwissenschaft 53, No. 7/8, 124 – 137, 2000

### BC 20 General (Malting and brewing)

Today the production of “alcohol-free” and alcohol-reduced beers is based mainly on the removal of alcohol after fermentation. Besides the diffusion of alcohol through suitable membranes, evaporation under vacuum has widely established itself on the market. Falling film evaporation seems to be the most advantageous evaporation technique available, since it combines simple plant construction with a high efficiency. Over the past years, several membrane systems for beer dealcoholisation have been installed, assumingly following a not always objectively founded trend to avoid any thermal stress on beer. Although membrane systems deliver quite satisfactory results in the majority of cases, this does not at all indicate that membrane-based alcohol removal was fundamentally superior to evaporation methods, or that it would in principle yield alcohol-free and alcohol-reduced beers of higher quality. There are indeed studies on the influence of falling film evaporation on the quality of “alcohol-free” and alcohol-reduced beers, but a comparison of the impact of various process engineering parameters has not been published

until now. This paper systematically covers the advantages and disadvantages of different working methods in alcohol removal from beer by falling film evaporation.

**Zufall, C., et Wackerbauer, K.: Paramètres pour la désalcoolisation de la bière au moyen d'un évaporateur à film tombant et leur influence sur la qualité de la bière** — *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 53, No 7/8, 124 – 137, 2000

#### BC 20 Généralités (Maltage et Fabrication de la bière)

La fabrication de bières sans alcool ou pauvres en alcool est essentiellement basée à ce jour sur le principe de l'élimination de l'alcool en fin de procédé. La technique d'évaporation sous vide a pu s'imposer largement sur le marché à côté de la diffusion de l'alcool par des membranes appropriées. La technique d'évaporation souhaitable pour la désalcoolisation de la bière pourrait être l'évaporation à film tombant. Celle-ci combine une construction simple de l'installation avec un rendement élevé. Au cours des dernières années, probablement à la suite d'une tendance souvent peu objective pour limiter une quelconque charge thermique, on a installé dans beaucoup de cas des installations à membranes pour la désalcoolisation de la bière. Les résultats qualitatifs souvent satisfaisants, ne signifient en aucune manière que la technique de membranes soit fondamentalement supérieure à la technique d'évaporation et principalement sur une qualité supérieure pour les bières pauvres ou sans alcool. Dans la littérature disponible, on trouve des études sur l'influence de l'évaporation à film tombant sur la qualité de la bière pour la fabrication de bières pauvres en alcool ou bières sans alcool. Toutefois, une comparaison de l'influence de différents paramètres du génie des procédés manquent jusqu'à présent. Le travail présent met à jour les avantages et les inconvénients de différents modes de travail pour la désalcoolisation de la bière à l'aide d'un évaporateur à film tombant.

#### 7 Literatur

1. Deutsches Reichspatent (DRP) 88 340, 1895.
2. Deutsches Reichspatent (DRP) 160 497, 1903.
3. Hürlimann, H.: Über die alkoholarmen Biere der Vereinigten Staaten von Nordamerika, *Z. ges. Brauwesen* **42**, 323 – 325, 1919.
4. Brenner, M. W.: Beers for the future, *MBAA Techn. Quart.* **17**, 185 – 195, 1980.
5. Deutsches Reichspatent (DRP) 114 744, 1899.
6. Kieninger, H., und Haimerl, J.: Die Herstellung von alkoholreduziertem Bier mittels Vakuumdestillation, *Brauwelt* **121**, 574 – 581, 1981.
7. Hochberg, U.: Bierentalkoholisierung durch Verdampfung, *Braund.* **71**, 480 – 485, 1986.
8. Hochberg, U., und Zander, J.: Entalkoholisieren von Bier durch Verdampfen im Fallstromverdampfer, *Brauerei-J.* **106**, 414 – 417, 1988.
9. Ziegler, E., und Mühlbauer, J.: Möglichkeiten zur Herstellung alkoholfreier und alkoholarmer Getränke mit Biercharakter, *Brauwelt* **115**, 800 – 803, 1975.
10. Muller, R. E., Barrett, J., und Baxter, E. D.: Enhancement of flavour in beers with reduced alcohol contents, *Proc. EBC Congr.* 1991 (Lissabon), 585 – 592.
11. Eckert, M.: Entalkoholisierung von Bier mittels Verdampfung bzw. Hochdruckextraktion unter besonderer Berücksichtigung der Aromastoffe, *Lebensmittelchemie* **46**, 114 – 115, 1992 (Ref.).

(Manuskripteingang 4. 5. 2000)