

Mikrofluidmechanik und ihre Bedeutung für die Brauereipraxis

August Gresser



WIDMUNG

*In Würdigung und als Anerkennung der jahrzehntelangen
exzellenten Forschung & Lehre insbesondere im Bereich der
„Mikrofluidmechanik und ihre Bedeutung für die
Brautechnik“, Herrn em. o. Hochschulprofessor Dr.-Ing.
Viktor Denk, unserem Ehrenmitglied von Slow Brewing, zum
90. Geburtstag gewidmet.*

MIKROFLUIDMECHANIK UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE BRAUEREIPRAXIS

August Gresser



IMPRESSUM

Haftungsausschluss

Alle Angaben in diesem Buch wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt und gemeinsam mit dem Verlag mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Dennoch lassen sich (im Sinne des Produkthaftungsrechts) inhaltliche Fehler nicht vollständig ausschließen. Die Angaben verstehen sich daher ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie seitens der Autoren oder des Verlages. Autoren und Verlag schließen jegliche Haftung für etwaige inhaltliche Unstimmigkeiten sowie für Personen-, Sach- und Vermögensschäden aus.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© 2022 Fachverlag Hans Carl GmbH, Nürnberg

Alle Rechte vorbehalten

Das Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Titelbild: Christina Schönberger

Layout und Satz: Komhus Agentur für Kommunikation, Essen

ISBN 978-3-418-00932-2
eISBN 978-3-4180-0931-5

VORWORT

Bei dem Kompendium „Mikrofluidmechanik und ihre Bedeutung für die Brauereipraxis - Ein technischer Überblick“ handelt es sich um eine Zusammenfassung einer Vielzahl von Publikationen und Vorträgen aus 40 Jahren Forschung und Entwicklung im Bereich der Strömungsmechanik und Mikrofluidmechanik von em. o. Hochschulprofessor Dr.-Ing. Viktor Denk (Lst. für Mechanik bzw. Fluidmechanik und Prozessautomation, heute Lst. für Systemverfahrenstechnik der TU München- Weihenstephan) und seinem Nachfolger Prof. Dr.-Ing. habil. Antonio Delgado (Lst. für Fluidmechanik und Prozessautomation der TU München-Weihenstephan, heute Lehrstuhlinhaber des Lst. für Strömungsmechanik (LSTM) - Department Chemie- und Bioingenieurwesen (CBI) - der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg).

Prof. Denk gilt als der Pionier bei der Erarbeitung und Anwendung physikalischen, strömungsmechanischen und regelungstechnischen Wissens im Brauwesen. Seine Arbeiten zu den Themen

- Würzefannen mit Außen- und Innenkocher,
- Industrieller Einsatz von Whirlpools,
- Schonförderung von Würze und Bier,
- Strömungsvorgänge in zylindrokonischen Gär- und Lagertanks,
- Regelungs- und Optimierungssysteme in zylindrokonischen Tanks auf der Grundlage von kognitiven Verfahren,

bilden unumstrittene Grundlagen der modernen brautechnischen Ingenieurskunst und vor allem für die

Projektierung im Anlagenbau für die Getränkeindustrie.

Daraus resultierten viele Publikationen und Beiträge in der Fachpresse, wie z. B. „Monatsschrift für Brauwissenschaft“, „Brauwelt“ und „Der Weihenstephaner“ sowie der European Brewery Convention (Proceedings und Manuals of Good Practice).

Besonders wertvoll sind für die Brauereipraktiker die teilweise bahnbrechenden Erkenntnisse der Strömungen von Würze und Bier in Behältern und Rohrleitungen sowie die Entwicklung und Einführung der Digitaltechnik für die Automatisierung in Brauereien.

Prof. Denk verstand es immer, die Ergebnisse seiner Forschung den verschiedensten Zuhörerkreisen nahezubringen: „Im glasklaren akademischen Referat oder im praxisnahen Vortrag vermittelte er den Zuhörern die komplizierten Grundlagen seiner Untersuchungen humorvoll und einprägsam“. So charakterisiert Prof. Ludwig Narziß seinen Kollegen Prof. Viktor Denk.

Den Studierenden vermittelte er sein profundes Wissen fast „väterlich“ und das Besondere daran war, aus eigener Erfahrung, bei all seinen, und durchaus auch anspruchsvollen und anstrengenden Vorlesungen, lehrte er den Studenten das „Denken“ und das selbstständige Arbeiten für die zukünftige Brauereipraxis!

Mit diesem technischen Kompendium zur Mikrofluidmechanik und deren Bedeutung für die Brautechnik, soll den Brautechnikern möglichst praxisnah ein Überblick über die komplexen Zusammenhänge der

unterschiedlichen Produktionsphasen gegeben werden und bei der Entscheidungsfindung für Investitionen sowie Sanierungsarbeiten bzw. Optimierungen in der Brautechnik helfen.

November 2021

August Gresser

ZUM GELEIT

„Mikrofluidmechanik“: schon wieder ein zwar gar nicht so neues, doch auf den ersten Blick recht unverständliches Wort. Es mag ja vielleicht für spezialisierte Wissenschaftler von Interesse sein. Aber für den Praktiker, der mitten in einem anspruchsvollen Produktionsprozess steht, scheint doch das seltsame Fachwort keine besondere Bedeutung zu besitzen. So etwa könnten die ersten Reaktionen des Fachpublikums auf den Titel des vorliegenden Buches zu hören sein. Doch schon die ersten Kapitel lehren das Gegenteil. Gerade viele Strömungsvorgänge „im Kleinen“ – man könnte fast sagen im „mikroskopischen Bereich“ – entscheiden in vielen Fällen über einen guten Verlauf des Herstellungsprozesses und damit über die Qualität des Endproduktes.

Die Mikrofluidmechanik befasst sich im Wesentlichen mit der Steuerung der mechanischen und thermischen Wechselwirkungen des Fluids (also einer Flüssigkeit oder eines Gases) mit den darin enthaltenen „kleinen Körpern“ (z.B. Feststoffpartikel, Mikroorganismen, Bläschen). Die wandnahen Strömungsbereiche, also die sogenannten Grenzschichten, sind wegen der dort herrschenden Strömungsverhältnisse von besonderem Interesse für die erwähnten Wechselwirkungen zwischen dem Fluid und den „kleinen Körpern“. Die Steuerungsmethoden der Mikrofluidmechanik sind von der konstruktiven Gestaltung der strömungsführenden Anlagenteile bis hin zu digitalen Zusatzhilfen im vorliegenden Werk beschrieben.

Die Untersuchungen zur Mikrofluidmechanik begannen in Weihenstephan am Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozessautomation der TU München gegen Ende der 1970iger-Jahre an den Anwendungsbeispielen „Würzpfanne mit Außenkocher“ und „Whirlpool“. Gerade der Whirlpool zeigte sich damals als ein „ziemlich rätselhaftes Wesen“. Nur ein Beispiel: in der einen Brauerei arbeitete ein Whirlpool zufriedenstellend, während sein völlig baugleicher „Zwillingsbruder“ in einem benachbarten Betrieb bei nahezu gleichem Aufbau und scheinbar sehr ähnlicher Würze fast völlig versagte. Die Mikrofluidmechanik konnte dieses und viele andere Rätsel lösen. Eine große Reihe „kranker“ Whirlpools in in- und ausländischen Brauereien wurde zur vollständigen Funktionsfähigkeit gebracht.

Das faszinierende Anwendungsspektrum der Mikrofluidmechanik hat der Verfasser dieses Buches, Herr Dr.-Ing. August Gresser, hervorragend dargelegt. Er hat sich der schwierigen und viel Arbeitsaufwand fordernden Aufgaben gestellt, Methoden und Ergebnisse der Mikrofluidmechanik zu beschreiben und zu erklären. Hierzu gehören auch einige Erinnerungen an die hier erforderlichen Kenntnisse von Grundlagen der „klassischen“ Strömungsmechanik. Ein reiches Literaturverzeichnis lädt zu einem vertieften Studium der Mikrofluidmechanik anhand von Originalarbeiten ein. Auch die Zielsetzung der Vereinigung „Slow Brewing“ wird durch das vorliegende Werk eindrucksvoll unterstützt.

Die Anwendungen der Mikrofluidmechanik können über die Verfahrenstechnik im Brauwesen weit hinausgehen. Es ist daher auch sehr begrüßenswert, dass dieses Fachgebiet der angewandten Strömungsmechanik in zusammengefasster und übersichtlicher Form hier dargestellt ist.

Ich wünsche diesem Werk einen interessierten und großen Leserkreis.

em. o. Hochschulprofessor Dr.-Ing. Viktor Denk

INHALT

1 Einleitung

2 Definitionen

3 Untersuchungsmethoden

4 Zielsetzung

5 Anwendungen

6 Schonförderung von Heißwürze im Sudhaus

6.1 Maischbehälter (Mischen-Rühren-Maischen)

6.1.1 Mischen

6.1.2 Rühren

6.1.3 Maischen

6.1.4 Ausführung von Maischgefäßen

6.1.5 Rührerformen und Rührertypen beim Maischen

6.1.6 Rührerleistung

6.1.7 Turbulenz und mechanische Beanspruchung

6.1.8 Betrachtung zur mechanischen Belastung der Maische

6.2 Läutereinrichtungen

6.3 Die Würzepfanne

6.3.1 Allgemeines

6.3.2 Strömungsvorgänge bei der thermischen Würzebehandlung

6.3.3 Kochsysteme

6.3.3.1 Sudpfanne mit Außenkocher

6.3.3.1.1 Allgemeines

- 6.3.3.1.2 Strömungsvorgänge in der Würzpfanne mit Außenkocher – Umlaufhäufigkeit
- 6.3.3.1.3 Praktischer Betrieb einer Würzpfanne mit Außenkocher
- 6.3.3.2 Sudpfanne mit Innenkocher
 - 6.3.3.2.1 Allgemeines
 - 6.3.3.2.2 Technik und Technologie der Würzekochung mit Innenkocher
 - 6.3.3.2.3 Thermofluidmechanische Vorgänge im Verdampferrohr
 - 6.3.3.2.4 Strömungsvorgänge beim Würzekochen mit Innenkocher
 - 6.3.3.2.4.1 Beschreibung der Innenkocherschwingungen
 - 6.3.3.2.4.2 Beschreibung der Entstehung der Schaumbildung
 - 6.3.3.2.4.3 Fazit zu den Strömungsvorgängen im Innenkocher (Robertverdampfer, Naturumlaufverdampfer)
 - 6.3.3.2.5 Praktischer Betrieb eines Innenkochers
 - 6.3.3.2.5.1 Shark® by Ziemann
 - 6.3.3.2.5.2 Ecotherm
 - 6.3.3.2.5.3 JETSTAR® (submerged jet)
 - 6.3.3.2.5.4 Stromboli

6.3.3.2.6 Niederdruckkochung (NDK)

6.3.3.2.7 Sonstige Kochsysteme

6.4 Der Whirlpool

6.4.1 Die Entfernung des Heißtubs

6.4.2 Die Aufgabe des Whirlpools

6.4.3 Die prinzipielle Wirkungsweise des Whirlpools

6.4.4 Unerwünschte Sekundärströmungen im Whirlpool

6.4.5 Die Elemente eines Whirlpools

6.4.6 Der Whirlpooleinlauf

6.4.7 Der Verfahrensablauf im Bild

6.4.8 Der Trenneffekt des Whirlpools

6.4.9 Die Konsistenz des Trubhaufens oder Trubkegel

6.4.10 Die äußeren Bedingungen für einen funktionierenden Whirlpool

6.4.10.1 Die whirlpoolfähige Würze

6.4.10.2 Mögliche Fehler in der Würzebehandlung stromaufwärts vom Whirlpool

6.4.10.3 Die Würzebeschaffenheit

6.4.11 Die optimale Auslegung des Whirlpools

6.4.11.1 Die Störquellen im Whirlpool selbst

6.4.11.2 Einlaufgeschwindigkeit v_e , Förderstrom und H/D-Verhältnis

6.4.11.3 Die Unterdrückung unerwünschter Sekundärströmungen

6.4.11.4 Die Gestaltung des Whirlpoolbodens

6.4.12 Die Behandlung des Trubhaufens

6.4.13 Die zweckmäßige Anordnung der Ablassöffnungen (Anstiche)

6.4.14 Neue Whirlpoolkonzeptionen

6.4.15 Empfehlenswerte Maßnahmen

- 6.4.16 Beispiele für fehlerhafte Würzen
 - 6.4.16.1 Trublaufende Würzen
 - 6.4.16.2 Zu hohe Scherbelastungen der Würze vor dem Whirlpool
- 6.4.17 Die Veränderung der Würze bei der Heißtrubabscheidung mittels Whirlpool
- 6.4.18 Tipps zur Vorgehensweise bei der Kontrolle des Whirlpools

7 Gärung, Reifung und Lagerung in Großraumbehältern (ZKT)

- 7.1 Einführung
- 7.2 Bau, Form und Material der ZKTs (ZKG, ZKL) und Hefetanks
 - 7.2.1 Zylindrokonische Gär- und Lagertanks
 - 7.2.2 Hefetanks
- 7.3 Bewegungsvorgänge während der Gärung in ZKGs
- 7.4 Temperaturverteilung in ZKTs bei der Gärung und Reifung des Bieres
- 7.5 Temperaturregelung in ZKTs bei der Gärung und Reifung des Bieres
- 7.6 Probenahme im ZKG und ZKT
- 7.7 Zusammenfassung – bisheriger Wissensstand

8 Der Einsatz radiale Kreiselpumpen in der Brauerei

- 8.1 Allgemeines zu Pumpen in der Gärungs- und Getränkeindustrie
- 8.2 Der Einsatz von Kreiselpumpen in der Brauerei
- 8.3 Bedeutung des Wirkungsgrades
- 8.4 Parameter zur Schonförderung mit Kreiselpumpen
- 8.5 Erreichen eines gewünschten Betriebspunktes
- 8.6 Abhängigkeit der Schubspannungsbelastung vom Betriebspunkt der Kreiselpumpe
- 8.7 Fehlanströmung

- 8.8 Laufradtyp offen oder geschlossen
- 8.9 Gewünschte Umfangsgeschwindigkeit durch größeren Laufraddurchmesser oder höhere Drehzahl
- 8.10 Minimieren von Radseitenräumen im Pumpengehäuse
- 8.11 Einbau der Pumpe in die Anlage

9 Die Verrohrung - Rohrleitungssysteme

- 9.1 Allgemeines
- 9.2 Rohreinläufe
- 9.3 Querschnittsänderungen
- 9.4 Richtungsänderungen
- 9.5 Rohrverzweigungen
- 9.6 Dehnungsausgleicher
- 9.7 Absperr- und Regelorgane
- 9.8 Formstücke
- 9.9 Einbau von Mess- und Regeleinrichtungen
- 9.10 Schubspannungen bei der Förderung von Heißwürze

10 Schlussbetrachtung

11 Literatur

12 Stichwortregister

13 Anhang

- 13.1 Formelzeichen und Abkürzungen

1 EINLEITUNG

Die Mikrofluidmechanik behandelt die Umströmung „kleiner Körper“ (Mikroorganismen, Würzeinhaltsstoffe etc.) in der Größenordnung zwischen 1 μm und einigen mm. Aus dem Kenntnis dieser Umströmungen werden die mechanischen und thermodynamischen Wechselwirkungen/Schubbelastung, Wärmeübergänge) abgeleitet. Der Anwendungsbereich ist sehr weitgefächert und betrifft in der Brautechnik v. a. die Schonförderung v. a. der Heißwürze, denn bei den Inhaltsstoffen der heißen Würze handelt es sich überwiegend um Agglomerate, die sehr empfindlich auf mechanische Belastungen reagieren.

Als zulässige Langzeitbelastung z. B. für Heißtrub werden maximal 50 Pa angegeben. Dieser Wert kann in einer Kreiselpumpe um ein Vielfaches überschritten werden, wenn auch nur für einen kurzen Zeitraum. Außerdem wird die Umwälzpumpe bei der Würzekochung mit Außenkocher idealerweise 8–10-mal pro Stunde durchströmt, so dass sich hier ein wesentliches Einflusspotential ergibt.

Ebenso ist die Ausschlagpumpe zu nennen, die im Verbund mit hohen Eintrittsgeschwindigkeiten in den Whirlpool zu einer deutlichen Zerkleinerung des Trubs führen kann. Dies kann schließlich zu Problemen bei der Abscheidung im Whirlpool führen. Besonders bei ungünstigem Geometrieverhältnis (h/d) des Whirlpools wird ein großer Volumenstrom bei kleiner Druckerhöhung nötig, was mit radialen Kreiselpumpen nur schwer zu verwirklichen ist.

Leider gibt es nur sehr wenig Aussagen über die „Materialfestigkeit“ von Maische und deren Inhaltsstoffe bezüglich einer mechanischen Beanspruchung durch Strömungskräfte. Deren Erkenntnis wäre die eigentliche Grundlage für die Beurteilung der zulässigen Belastung beim Maischprozess.

Auch Hefezellen zeigen sich gegenüber einer strömungsmechanischen Beanspruchung empfindlich. Laborversuche mit bekannter Schubspannung führen bereits ab ca. 100 Pa zu einer deutlichen Zunahme des Anteils toter Hefezellen bei Anstellhefe. Deshalb sollte auch bei Pumpvorgängen von Hefesuspensionen und Jungbier bzw. Kräusen auf Auswahl und Betrieb der Kreiselpumpen sorgfältig geachtet werden.

Ziel einer Schonförderung von Würze, Hefesuspensionen, den Zwischenprodukten bei der Bierherstellung und dem Bier ist einmal eine Produktionsbehinderung (z. B. Probleme im Whirlpool) zu vermeiden und zum anderen eine Qualitätsminderung des fertigen Bieres (z. B. Zwiebelgeschmack) zu verhindern. Es ist sicher, dass das eine oder andere technisch-technologische Problem bei der Würze- und Bierbereitung zu dessen Lösung viel Mühe aufgewendet wird, auf zu hoher mechanischer Belastung der Inhaltsstoffe des Substrates beruhen. Daher ist es sinnvoll, alle relevanten Systemkomponenten unter die Lupe zu nehmen.

Der Beitrag soll gewissermaßen eine „Tour d’Horizon“ darstellen.

2 DEFINITIONEN

Technische Strömungsmechanik

„Die Strömungsmechanik, Fluidmechanik oder Strömungslehre ist, nach Wikipedia, die Wissenschaft vom physikalischen Verhalten von Fluiden. Die in der Strömungsmechanik gewonnenen Kenntnisse sind Gesetzmäßigkeiten in Strömungsvorgängen und dienen der Lösung von Strömungsproblemen in der Auslegung von durch- bzw. umströmten Bauteilen sowie der Überwachung von Strömungen. Angewendet wird sie unter anderem im Maschinenbau, Chemieingenieurwesen, der Wasser- und Energiewirtschaft, Meteorologie, Astrophysik und der Medizin sowie Nahrungs- und Getränkeindustrie. Ihre Grundlagen findet sie in der Kontinuumsmechanik und Thermodynamik, also der klassischen Physik.“
(Internetartikel vom 26. Juni 2021)

Zum Verstehen der Zusammenhänge und Ableiten der Gesetze der Technischen Strömungsmechanik sind für die Durchführung von Berechnungen Grundkenntnisse der Technischen Mechanik und Mathematik, insbesondere der Differential- und Integralrechnung, notwendig.

Mikrofluidmechanik

Die ursprüngliche Definition der Mikrofluidmechanik und der „kleinen Körper“ kann folgendermaßen beschrieben werden:

- Mikrofluidmechanik
 - › Erforschung der mechanischen und thermodynamischen Wechselwirkungen zwischen kleinen Körpern und relativ dazu gehörendem Fluid
 - › Beispiele

- » Strömungsbedingte Scher- und Normalspannungen
- » Wärmeübergang und Temperaturverteilung
- „Kleine Körper“
 - › Beispiele
 - » Mikroorganismen
 - » Blasen
 - » Tröpfchen
 - » Kleine Feststoffpartikel
 - › Randbedingungen
 - » Undurchlässige Oberfläche („Haut“)
 - » Phasengrenzfläche (Blase, Tropfen)
 - › Größe
 - » 1 μm bis 1mm

Man unterscheidet bei Letzteren solche mit einer in strömungsmechanischer Hinsicht undurchlässigen Haut (z. B. Hefezellen) und andere mit einer Phasengrenzfläche als Berandung (z. B. Fetttröpfchen in Milch). Makromoleküle und deren Agglomerationen sind z. B. Heißstrubflocken im Whirlpool.

Die Mikrofluidmechanik ist ursprünglich aus der Frage nach dem Mechanismus der Zerstörung von Mikroorganismen in Folge mechanischer Spannung entstanden, vorzugsweise Schubspannungen in Pumpen, Mischbehältern, Fermentern oder Rohrleitungssystemen.

Inzwischen hat sich das Anwendungsgebiet deutlich erweitert:

- Blasen und Tröpfchen in Flüssigkeiten und Gasen, z. B. Fettkugeln in Milch - Homogenisieren, schonende Förderung,
- Mikroorganismen und Zellen in Flüssigkeiten, z. B. Hefezellen in Fermentern und Zentrifugen,
- Rote Blutkörperchen,

- Feststoffpartikel in Fluiden, z. B. das Problem des Fouling,
- Schonförderung in Rohren, Krümmern, Ventilen,
- Schonendes Mischen, Rühren, Kochen, z. B. Würze in Sudpfannen oder Biosuspensionen,
- Pumpen, insbesondere radiale Kreiselpumpen,
- Wärmeübergang Fluid-Partikel: Sterilisierung,
- Durchströmung des Kugelhaufwerkes: Festbettreaktoren.

Reynoldszahl Re

Die Reynoldszahl spielt in der Strömungsmechanik eine Grundlegende Rolle und wird wie folgt berechnet:

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$$

U = charakteristische Geschwindigkeit

D = charakteristische Länge

$\nu = \eta/\rho$ = kinematische Viskosität

Zur Erläuterung der Größenordnung:

- Großraumflugzeuge: $Re \cong 10^7-10^8$
- Brücken im Sturm: $Re \cong 10^7$
- Fußball, Elfmeterschuss: $Re \cong 3,3 \cdot 10^5$
- Aufsteigende CO₂ im Bierglas: $Re \cong 5-10$
- Mikrofluidmechanik: $Re = 10^{-4}-10^{+2}$

Wie man leicht erkennen kann, ist die Mikrofluidmechanik ein interdisziplinäres Fachgebiet.

Technische Thermodynamik

„Thermodynamik ist die Lehre von den Zustandsänderungen thermodynamischer Systeme unter dem Einfluss von Wärme und Arbeit“.

Die technische Thermodynamik hat vor allen zwei Anwendungsgebiete:

- Sie liefert die Theorie der thermischen Kraft- und Arbeitsmaschinen, indem sie Wärme- und Arbeitsumsatz idealisierter Prozesse zu berechnen gestattet und so einen Vergleich mit den Vorgängen in der wirklichen Maschine möglich macht (äußere Thermodynamik).
- Sie ermöglicht es, Zustandsgleichungen oder Zustandsdiagramme der Arbeitsmedien mit einer verhältnismäßig geringen Zahl von experimentellen Ausgangsdaten unter Benutzung der thermodynamischen Konsistenz aufzustellen (innere Thermodynamik).

Systemverfahrenstechnik

Die Arbeitsgruppe Systemverfahrenstechnik der TU Dresden definiert die Systemverfahrenstechnik wie folgt: „Die Systemverfahrenstechnik integriert die Modelle und Ergebnisse aller verfahrenstechnischer Einzeldisziplinen auf Systemebene. Ziele sind der Entwurf von Prozessketten, die Prozessintensivierung sowie Betrieb, Führung und Optimierung verfahrenstechnischer Anlagen“. (Website der TU Dresden)

„Ziel ist z. B. die Übertragung und Neuentwicklung systemverfahrenstechnischer Konzepte für lebensmittel-

und getränketechnologische sowie biologische Prozesse. Die Systemverfahrenstechnik zeichnet sich also als Disziplin durch ihre integrierende Herangehensweise aus. Durch die enge Verschränkung von mathematischen und informationstechnologischen Techniken mit aktuellem Prozesswissen versucht sie auf Basis von Modellen Einsicht zu gewinnen. Diese Einsicht dient der Optimierung und/oder Neuentwicklung von Prozessen und Produkten. Die Systemverfahrenstechnik ist damit nicht auf eine bestimmte Anwendung oder ein bestimmtes Produkt fokussiert, sondern definiert sich über einen modellbasierten Zugang zur Lösung von Problemen“, so die Definition nach dem Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik der TU München (Website der TU München)

Verfahrenstechnik im Brauprozess

Nach Werner Hemming ist „die Verfahrenstechnik eine selbständige Ingenieurwissenschaft, die sich mit allen Vorgängen befasst, bei denen Stoffe hinsichtlich Zusammensetzung, Eigenschaften oder Stoffart verändert werden.

Hinsichtlich ihrer Anwendungsgebiete ist die Verfahrenstechnik ein interdiszipliniertes Fachgebiet. Wichtige Bereiche verfahrenstechnischer Anwendungen sind:

- chemische Technik,
- Eisenhüttenwesen und NE-Metallurgie,
- Nahrungs- und Genussmittelindustrie,
- Steine- und Erden-Industrie,
- Umwelttechnik,
- Biotechnik,
- medizinische Technik.

Eng verbunden mit der Verfahrenstechnik ist der Apparatebau. Die Verfahrenstechnik ist ebenso wie Fertigungstechnik und Energietechnik ein Teil der Produktionstechnik. Ziel der Fertigungstechnik ist die Formänderung, Ziel der Energietechnik ist die Energieumwandlung und Ziel der Verfahrenstechnik ist die Stoffänderung. Verfahrenstechnik ist also nichts anderes als eine Stoffumwandlungstechnik.

Die Stoffumwandlung kann erfolgen durch:

- Änderung der Zusammensetzung, z. B. von Suspensionen durch Filtrieren oder von Lösungen durch Destillieren,
- Änderungen der Eigenschaften, z. B. der Feuchtigkeit eines Produktes durch Trocknen oder der Korngröße durch Zerkleinern,
- Änderung der Stoffart, z. B. von Verbindungen durch chemische/biochemische Reaktionen (wie der stoffliche Übergang von Würze zu Bier) oder von Elementen durch Kernumwandlung.

Zusammensetzung und Eigenschaften von Stoffen werden durch physikalische Verfahren geändert. Die Stoffart kann nur durch chemische oder nukleare Reaktionen umgewandelt werden. Man gliedert die Verfahrenstechnik daher auch in physikalische, chemische und nukleare Verfahrenstechnik (Kernverfahrenstechnik).

Es ist üblich, die physikalische Verfahrenstechnik in eine mechanische und eine thermische Verfahrenstechnik zu unterteilen. Bei der mechanischen Verfahrenstechnik sind die Gesetze der Mechanik und bei der thermischen

Verfahrenstechnik die Gesetze der Thermodynamik maßgebend für die Stoffumwandlung.

Die Aufgaben der Verfahrenstechnik liegen in der technischen Vorbereitung (Projektierung) und Durchführung von Stoffumwandlungsverfahren.

Im Einzelnen sind der Verfahrenstechnik vier Aufgabenbereiche zugewiesen, und zwar:

- theoretische Klärung der Stoffumwandlungsvorgänge,
- Entwicklung von Produktionsverfahren durch optimale Kombination von Verfahrensbausteinen (Grundverfahren),
- Planung und Auslegung von Produktionsanlagen,
- Betrieb und Überwachung von Produktionsanlagen.“

Unter Verfahrenstechnik im Brauprozess werden die einzelnen Prozessabschnitte der Würze- und Bierbereitung betrachtet, wobei jedoch auch grundlegende hydrodynamische, thermodynamische, physikalischchemische und technologische Zusammenhänge aufgegriffen und in Zusammenhang gebracht werden. Lässt man den rein stofflichen Übergang von Würze zu Bier außen vor, so gelangt man bei der Bierherstellung zu den verfahrenstechnischen Grundoperationen oder „Unit Operations“, wie man sie auch in anderen Herstellungsbereichen nennt.

Abb. 1: Die Braustätte als „Unit Operations“, KRONES AG, Werk Steinecker Freising



Neben der Malzauflösung hat die Zerkleinerung des Malzes, das Schrotten, maßgeblichen Einfluss auf die nachfolgenden Prozessschritte. Bestimmt doch die Schrotfeinheit zum Teil die stofflichen Umsetzungen beim Maischen und die Wahl des Trennsystems zur Gewinnung der Würze. Der Vorgang des Maischens und Rührens umfasst die Grundoperation Suspendieren, Homogenisieren, Stoff- und Wärmetausch. Diese sollen eine schnelle Lösung und eine vollständige Umsetzung der Malzinhaltsstoffe bewirken. Ziel des Maischens ist es, maximal Extrakt bei technologisch idealer Würzezusammensetzung für den angestrebten Biertyp zu erhalten.

Die sich anschließende Trenntechnik soll zu einer schnellstmöglichen Abtrennung der Festbestandteile bei optimaler Ausbeute führen. Hierbei müssen die existierenden Trennsysteme unter Einbeziehung der Sedimentation, Filtration, Diffusion und Verdrängung differenziert betrachtet werden. Die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Würzekochung samt der Wärmerückgewinnungsmaßnahmen wirft Fragen zur Verdampfung, thermischen Belastung und Homogenität auf.