

6 SCHONFÖRDERUNG VON HEISSWÜRZE IM SUDHAUS

6.1 MAISCHBEHÄLTER (MISCHEN-RÜHREN-MAISCHEN)

6.1.1 MISCHEN

Die mechanischen Verfahren zu Stoffvereinigung gliedern sich in die beiden Hauptgruppen Mischen und Kornvergrößerung. Die Gruppe der Mischverfahren besteht aus Rühren, Kneten und Trockenmischen. Diese Mischverfahren dienen z.B. zum Homogenisieren (vergleichsmäßigen), Suspendieren, Emulgieren, Fluidisieren, Dispergieren, Anteigen, Lösen und Sättigen. Zu den Kornvergrößerungsverfahren gehören Sintern, Granulieren, Tablettieren und Bikettieren.

Ziel aller Mischverfahren ist das Vereinigen verschiedenartiger Stoffe zu einem Gemisch mit möglichst vollkommener Gleichverteilung.

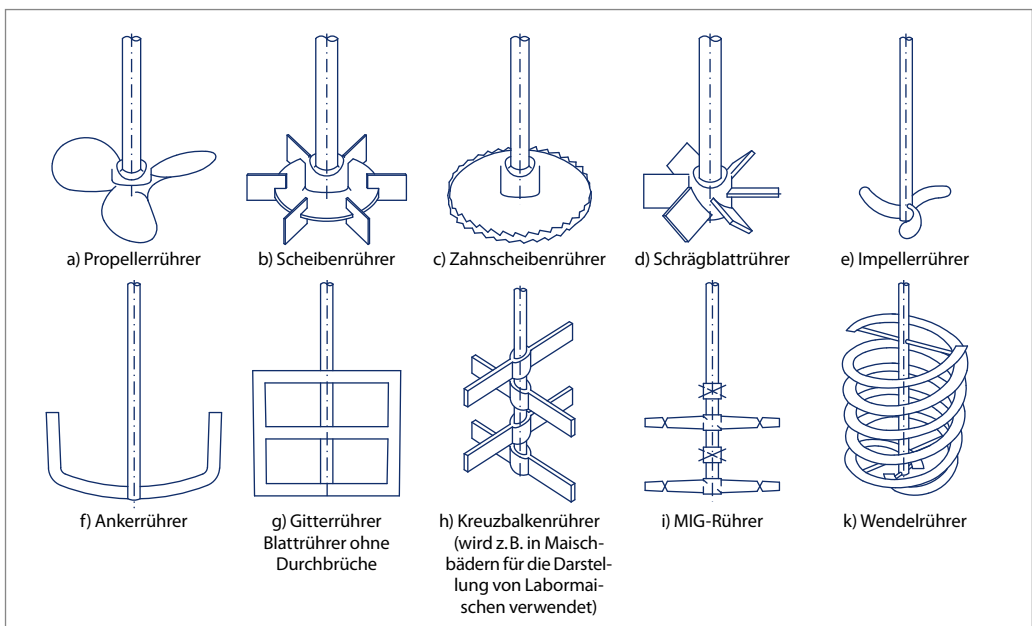
6.1.2 RÜHREN

Rühren ist ein Verfahren, bei dem Flüssigkeiten miteinander vermischt werden oder gasförmige und feste Stoffe in Flüssigkeiten dispergiert oder gelöst werden.

Physikalisch betrachtet bedeutet das, dass die Mischung der Komponenten beim Rühren durch Strömungskräfte, die in der Rührströmung entstehen, erfolgt. Die Rührströmung wird vom rotierenden Rührorgan erzeugt; Art, Stärke und Richtung der Rührströmung hängen ab von Rührerform, Viskosität der Flüssigkeit und Relativgeschwindigkeit zwischen Rührer und Flüssigkeit.

Man unterscheidet nach Förderrichtung primär axial, radial und tangential fördernde Rührer. Zu den Axialrührern zählen Propeller-, Schrägblatt- und Wendelrührer. Scheibenrührer, Radialschaufelrührer und Impellerrührer fördern radial. Zu den tangentialen Bauarten gehören Anker-, Blatt- und Gitterrührer, vgl. Abbildung 3.

Abb. 3: Wichtige Rührerformen für die mechanischen Verfahren zur Stoffvereinigung



Der Rührer saugt das Mischgut axial an, und zwar die schwereren Komponenten von unten und die leichteren von oben. Das Mischgut wird vom Rührer erfasst, dispergiert und radial oder axial mit großer Energie wieder ausgeschleudert.

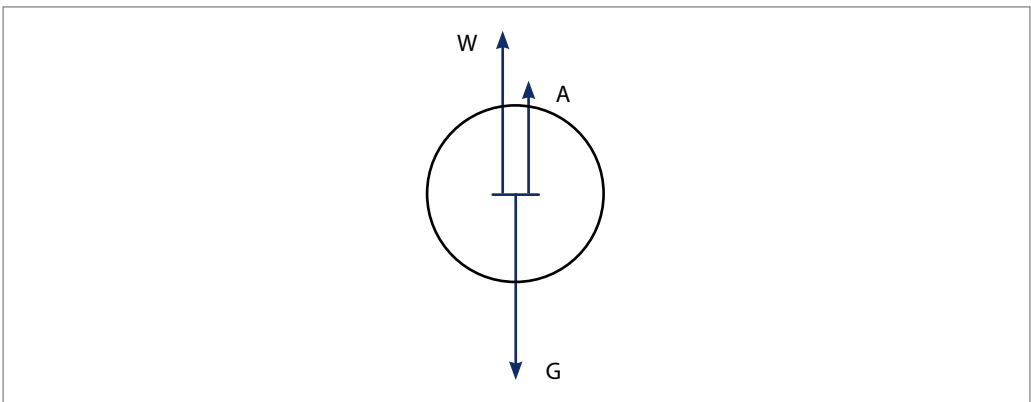
Die Maische ist eine Suspension mit turbulenter Rührströmung, die ein Entmischen oder Absetzen unter Schwerkrafteinfluss verhindern soll. Bei der Betrachtung eines kugelförmigen Partikels in einer ruhenden Flüssigkeit im Schwerfeld werden vereinfachende Voraussetzungen getroffen:

- das Partikel der Größe x ist starr,
- die festen Wände sind weit entfernt,
- das Fluid ist inkompressibel und newtonsch.

Auf ein kugelförmiges Partikel wirken im Gravitationsfeld nach der Anlaufphase (instationäre Anfangsphase) drei im Gleichgewicht stehende Kräfte:

- die Auftriebskraft F_A ,
- die Widerstandskraft F_W ,
- die Gewichtskraft F_G .

Abb. 4: Skizze Kräftegleichgewicht an einem kugelförmigem Einzelpartikel



Dies bedeutet, dass die Beschleunigung der Kugel abgeschlossen ist. Es herrschen stationäre Verhältnisse. Das Partikel besitzt eine stationäre Endfallgeschwindigkeit w_f (Sinkgeschwindigkeit), die von der Zähigkeit des Fluids η , dem Dichteunterschied zwischen Partikel und Fluid ($\Delta\rho = \rho_s - \rho_f$) und der Partikelgröße x abhängt.

6.1.3 MAISCHEN

Die Maische ist im verfahrenstechnischen Sinn ein disperses System. Disperse Systeme bestehen aus der dispersen (disperse Element) und der kontinuierlichen Phase. Sowohl die disperse als auch die kontinuierliche Phase können fest, flüssig oder gasförmig sein. Gemäß der Partikelgröße kann unterschieden werden in ein

- Molekulardisperses System
Partikelgröße $< 10^{-9}$ m,
- Kolloiddisperses System
Partikelgröße 10^{-9} – 10^{-6} m,
- Grobdisperses System
Partikelgröße $> 10^{-6}$ m.

Demnach ist die Maische ein grobdisperses System, eine Suspension bestehend aus kontinuierlicher (umgebendes Medium, Wasser/Würze) und disperser Phase (Partikel, Schrot) mit einem hohen Feststoffgehalt von $\geq 25\%$.

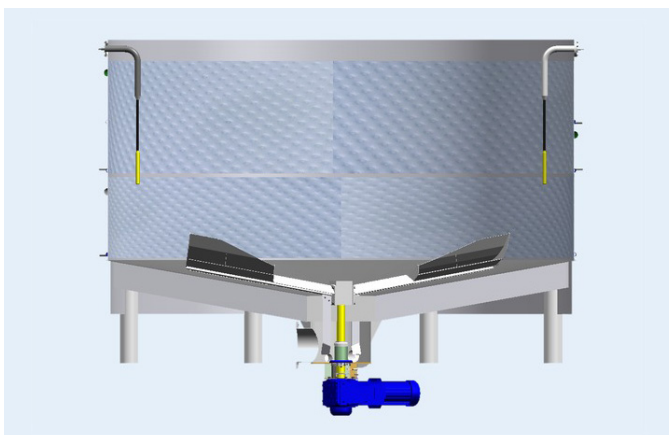
Im Vorgang des Maischens und Rührens im Brauprozess sind die Grundoperationen Suspendieren, Homogenisieren, Stoff- und Wärmeaustausch enthalten. Grundvoraussetzung beim Maischen ist, dass eine optimale Vermischung von Schrot und Brauwasser stattfindet. Hierzu sind im ersten Schritt nach der Trockenschrotung entsprechende Einmischvorrichtungen vorgeschaltet, die einem „Malzteppich“ und Klumpenbildung entgegenwirken sollen. Beim Einmaischen wird ein Feststoff (Schrot) in einer flüssigen Phase verteilt (suspendiert). Mit dem Rühren wird das Ziel verfolgt, die Teilchen in Schwebelage zu halten, so dass keine Partikel länger am Boden verweilen (1-s-Kriterium). Beim Rühren dieser Suspension findet ein Stoffaustausch zwischen der fluiden und der dispersen Phase statt. Das Aufwirbeln schafft eine volle Austauschfläche zwischen diesen beiden Phasen. Konzentrationsgefälle in der Suspension und in der Grenzschicht um die Partikel werden ausgeglichen. Außerdem wird der Wärmeübergang zwischen Wand und Flüssigkeit geschaffen. Es sollen homogene Verhältnisse herrschen.

Nach technologischem Kenntnisstand wird beim Maischerühren eine maximale Umfangsgeschwindigkeit von $v_U = \text{m/s}$ toleriert. Anderenfalls werden Lufteintrag in die Maische und erhöhte Scherkräfte befürchtet.

6.1.4 AUSFÜHRUNG VON MAISCHGEFÄSSEN

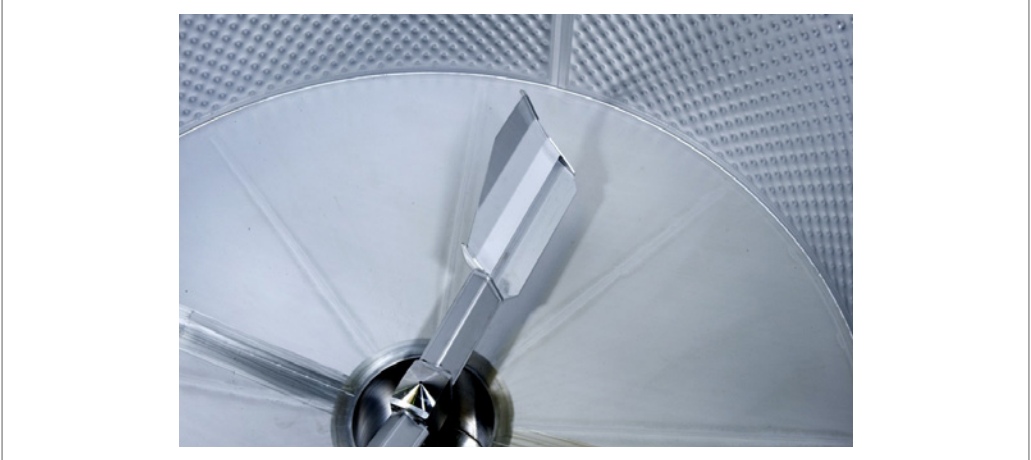
Aus strömungsmechanischer Sicht werden Maischgefäße heute grundsätzlich rund und aus Edelstahl gefertigt. Die Heizflächen am Gefäßboden bzw. der Zarge müssen so ausgelegt sein, dass die Gesamtmaische mit $1,5\text{ °C/min}$ aufgeheizt werden kann (Vorlauftemperatur ca. 135 °C). Eine Überhitzung im Wandnahen muss vermieden werden. Die Grenzschichtdicke muss gering sein, um hohe Aufheizraten zu realisieren. Lasergeschweißte Heiztaschen sind heute üblich. Stand der Technik ist, die Heizflächen innen zur Produktseite in Form der Templatetechnik (Edelstahlbleche mit kugelförmigen Vertiefungen) zu fertigen. Dies hat den Vorteil, dass durch die größere Oberfläche und durch Turbulenzen in Wandnähe höhere Aufheizraten $> 2\text{ °C/min}$ und bei Dampfdrücken von $1,7\text{--}2,5\text{ bar}$ niedrigere Heizmittelvorlauftemperaturen (geringere Grenzflächentemperaturen) möglich sind. Außerdem wird durch die Turbulenz das Fouling im Vergleich zu glatten Heizflächen deutlich verringert. Behälter können mehrere Heizzonen in der Zarge haben. Bei Bedarf wird zusätzlich eine Bodenheizzone eingebracht.

Abb. 5: Runde Maischbottichpfanne, KRONES AG, Werk Steinecker Freising



Beim Maischsystem „Shakesbeer“ von Steinecker KRONES sind im Gefäß zusätzlich Vibrationsrüttler installiert, die Frequenzen erzeugen, wobei die in der Maische enthaltenen Gaseinschlüsse ausgetrieben werden, vgl. Abbildung 6.

Abb. 6: Maischgefäß System „Shakesbeer“, KRONES AG, Werk Steinecker Freising



Daraus resultiert ein besserer Kontakt der Maischebestandteile und damit ein gesteigerter Stoff- und Wärmeaustausch.

6.1.5 RÜHRERFORMEN UND RÜHRERTYPEN BEIM MAISCHEN

Die durch den Rührer beim Maischen erzeugte Turbulenz soll optimales Suspensieren und Homogenisieren ermöglichen. Bezüglich Wärmeaustausch wird eine schnelle Temperaturverteilung (keine Überhitzung im wandnahen Bereich, kleine Grenzschichtdicke) bei geringer Scherbelastung angestrebt.

Das Rührwerk besteht aus Antrieb, Rührerwelle mit Rührer und Wellendichtung sowie Rührbehälter. Der Behälter kann mit Einbauten, sog. Strombrechern (Bewehrung), ausgestattet sein. Einbauort, Art und Abmessung des Rührers, Rührerform oder Rührertyp sowie die Drehzahl prägen die erzeugte Strömung. Von großer Bedeutung sind die geometrischen Daten von Behälter und eingebautem Rührwerk. Bei der Auslegung eines Rührwerks konstruiert man um das Rührorgan herum und bezieht alle Maße auf den Rührerdurchmesser d_2 bzw. auf den Behälterdurchmesser d_1 . Wichtige geometrische Kenndaten sind d_2/d_1 , h_3/d_1 , h_1/d_1 .

Abb. 7: Geometrie eines Rührbehälters

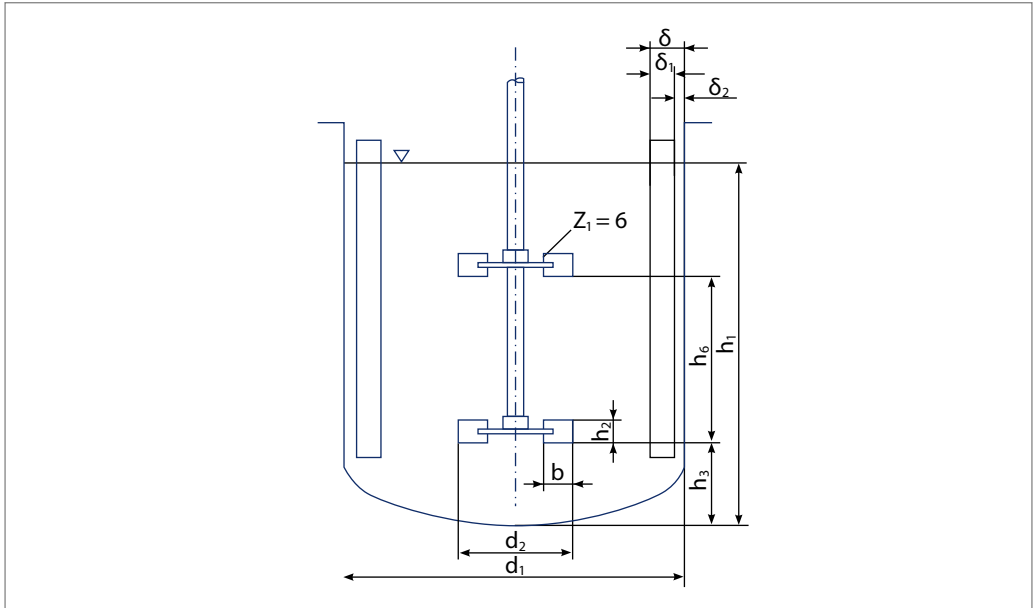
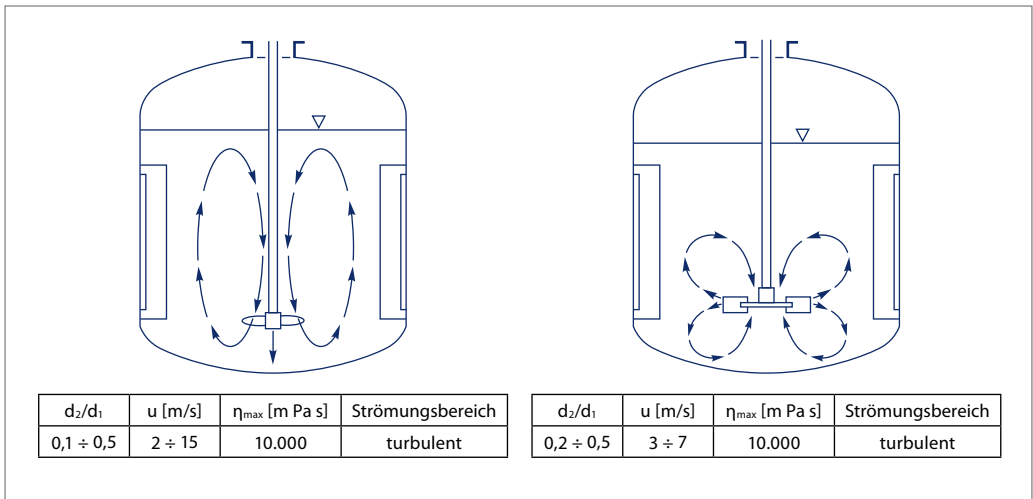


Abb. 8: Rührertypen (Propellerrührer, Scheibenrührer)



Die Rührertypen können nach folgenden Kriterien unterschieden werden:

- Primär erzeugte Strömungsrichtung (axial, radial, tangential),
- Geometrische Verhältnisse (d_2/d_1),
- Rührerumfangsgeschwindigkeit,
- Strömungsbereich (turbulent, laminar),
- Zähigkeitsfließverhalten des Mediums (nieder-, hochviskos; newtonsch, nicht-newtonsch).

Das Rührorgan muss durch Bewegung (meist Rotation) den flüssigen Behälterinhalt durchmischen (Abbildungen 9 und 10).

Abb. 9: Zwei Beispiele von Rührertypen

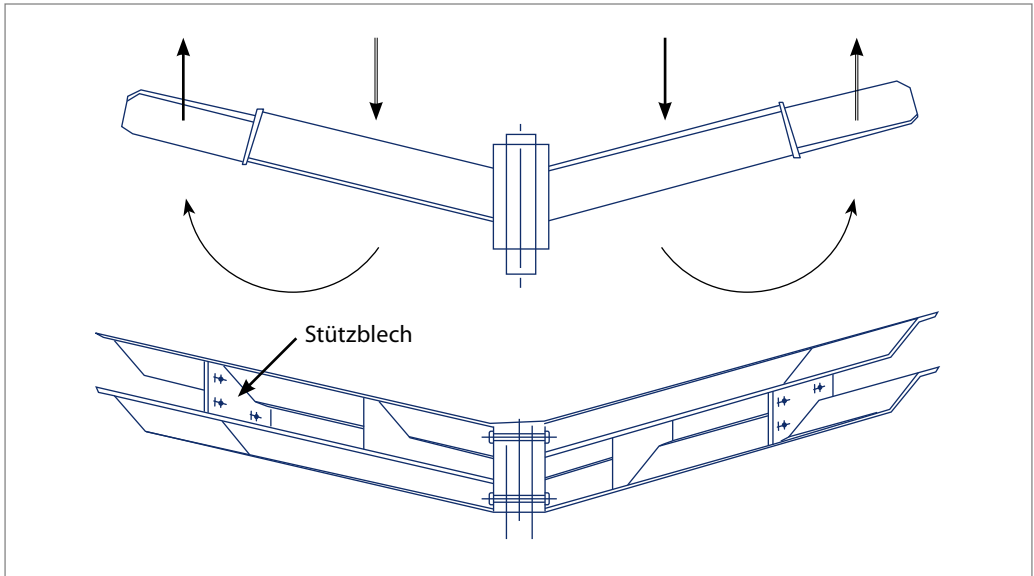
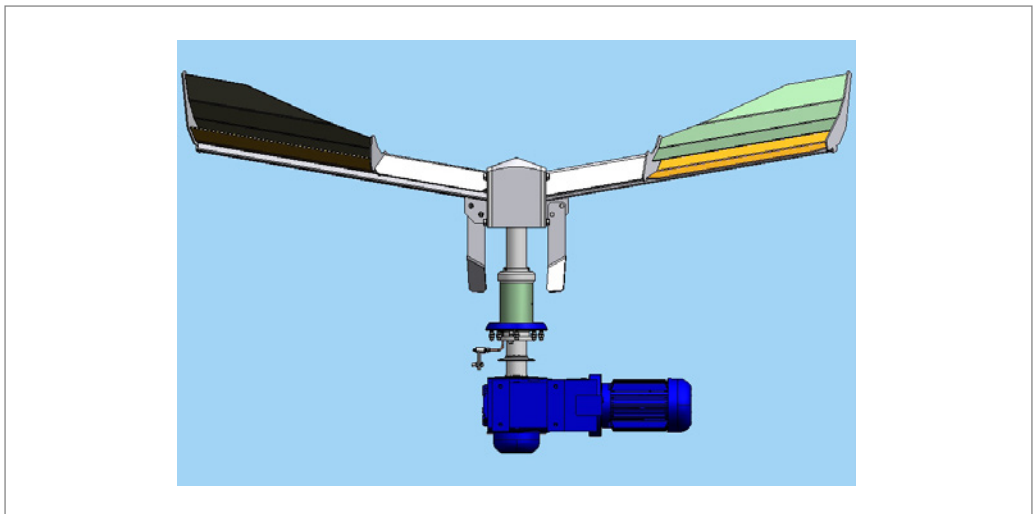


Abb. 10: Kombination Gegenstromrührer – Doppeldecker, KRONES AG, Werk Steinecker Freising



6.1.6 RÜHRERLEISTUNG

Eine der wichtigsten mechanischen Kenngrößen in der Rührtechnik ist die Leistungskennzahl Ne (Newton-Zahl). Sie hängt von der Rührerform, der geometrischen Anordnung im Behälter sowie von Kennzahlen ab, welche die Strömung charakterisieren. Mit Kenntnis von Ne kann die mechanische Leistung bestimmt werden.

$$P = Ne \rho \cdot n^3 \cdot d_2^5 = M_t \cdot 2\pi \cdot n$$

(Nettorührleistung)

ρ = Dichte des Fluids

n = Rührerdrehzahl

d_2 = Rührerdurchmesser

M_t = Drehmoment

$$Ne = \frac{M_t \cdot 2\pi}{\rho \cdot n^2 \cdot d_2^5}$$

(Drehmomentgleichung)

6.1.7 TURBULENZ UND MECHANISCHE BEANSPRUCHUNG

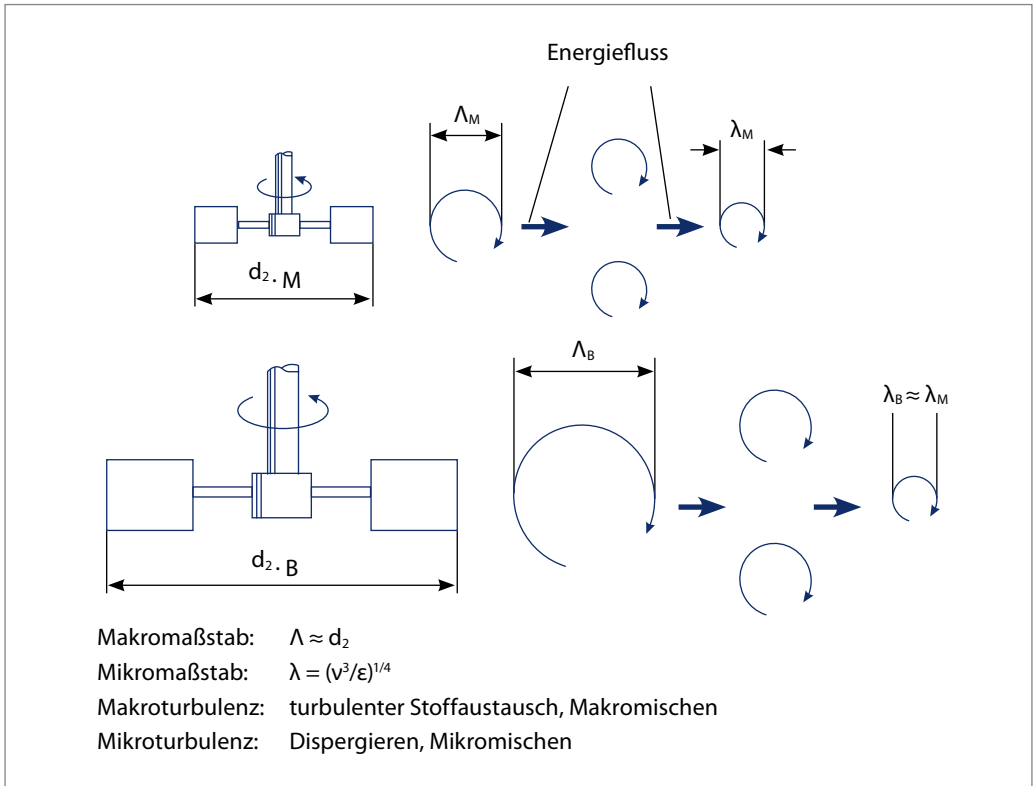
Viele Rührprozesse sind durch die vom Rührorgan erzeugte Turbulenz beeinflusst. Die Beschreibung der Partikelbeanspruchung ist insofern problembehaftet, als sich zwar nach Definition der Mikrofluidmechanik kleine Körper (1 μm –1 mm), bedingt durch ihre laminare Umströmung, numerisch charakterisieren lassen, jedoch die Schubspannungsverteilung an größeren Partikeln (z. B. Flocken) in turbulenten Scherströmungen bis heute nicht hinreichend mathematisch beschreibbar ist.

Als Ursache der Partikelbeanspruchung ist die Relativgeschwindigkeit zwischen Partikel und Fluid zu sehen. In den meisten Reaktionen liegen turbulente, dreidimensionale Strömungen vor. Hier sind der Grundströmung u dreidimensionale Schwankungsbewegungen mit Geschwindigkeitskomponenten überlagert: u'_i ($i = x, y, z$). In diesem Fall ist als Relativgeschwindigkeit die turbulente Schwankungsgeschwindigkeit u' von Einfluss.

6.1.8 BETRACHTUNG ZUR MECHANISCHEN BELASTUNG DER MAISCHE

Bei der Bierherstellung werden die den einzelnen Prozessschritten entsprechenden Fluide wie Maische, Würze und Bier mechanischen Belastungen ausgesetzt. Diese treten bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten in Rohrleitungen, bei hohen Eintrittsgeschwindigkeiten in Behältern oder Rühr- und Pumpvorgängen auf. Aus der Literatur ist zu entnehmen, dass sich durch mechanische Belastung der Maische (z. B. starkes Pumpen oder Rühren) die Viskosität der Maische bzw. der Würze erhöhen und deshalb die Abläuterung verschlechtern soll. Andererseits soll durch die mechanische Belastung ein Abrieb der Schrotpartikel erfolgen. Der erhöhte Feinanteil kann dann den Filterkuchen verstopfen. Einige Arbeiten befassen sich mit dem Eingriff in die molekulare Struktur. Letters stellte schon 1977 eine Hypothese zur Gelbildung aus β -Glucan auf. Demnach werden bei Bieren mit hohem β -Glucangehalt die knäuelartigen β -Glucan-Moleküle durch Scherkräfte gestreckt und können dann durch Parallelanlagerung Gele bilden. Dies geschieht z. B. durch Separieren. Diese Gele sind strukturviskos, erhöhen die Viskosität des Bieres und führen schon in geringen Mengen zu großen Filtrationsgeschwindigkeiten. Durch Erwärmen $> 30^\circ\text{C}$ können sie wieder in die Solform überführt werden („Cracken“).

Abb. 11: Dissipation* frei erzeugter Wirbel, Handbuch der Rührtechnik, EKATO Rühr- und Mischtechnik GmbH, Schopfheim 2000



De facto gibt es wissenschaftlich relativ wenig belastbare Aussagen über die „Materialfestigkeit“ von Maische und deren Inhaltsstoffe bezüglich einer mechanischen Beanspruchung durch Strömungskräfte. Nur deren Erkenntnis wäre die eigentliche Grundlage für die Beurteilung der zulässigen mechanischen Belastung beim Maischprozess.

*Dissipation (lateinisch für „Zerstreuung“) nach Wikipedia, bezeichnet in der Physik den Vorgang in einem dynamischen System, bei dem z. B. durch Reibung die Energie einer makroskopisch gerichteten Bewegung, die in andere Energieformen umwandelbar ist, in thermische Energie übergeht, d. h. in Energie einer ungeordneten Bewegung der Moleküle, die dann nur noch teilweise umwandelbar ist. Ein solches System heißt dissipativ. Dieser Begriff kommt in den physikalischen Gebieten der Thermodynamik und der Akustik oder allgemein in der Wellenlehre vor.

In der Thermodynamik werden die Arbeiten, die auf Grund von Reibungs-, Drosselungs- oder Stoßvorgängen in thermische Energie (innere Energie) umgewandelt werden, als Dissipationsarbeiten bezeichnet. Es handelt sich dabei um irreversible Vorgänge, bei denen die Entropie zunimmt, anders ausgedrückt: Exergie wird in Anergie umgewandelt (vgl. Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik). Diese Arbeiten sind Prozessgrößen, d. h. wegababhängig.