

Wie der Schaum aufs Bier kommt (Teil 1)

DR. JOHANNES TIPPMANN

22. FEBRUAR 2019

Feinporig, fest und üppig die Schaumkrone, das Bier herrlich frisch und spritzig: So sollte es sein bei einem frisch gezapften Bier. Warum das in keinem Fall sieben Minuten dauern muss und was sonst noch eine Rolle spielt auf dem Weg zum perfekt gezapften Bier, erklärt uns Dr. Johannes Tippmann.

Immer wieder kommt es vor, dass es der Person am Zapfhahn nicht möglich ist, ein Bierglas in einer ordentlichen Geschwindigkeit voll zu schenken, obwohl die Bierschankanlage scheinbar perfekt eingestellt ist. Der viel diskutierte Sättigungsdruck spielt natürlich eine wichtige Rolle, ebenso wie die Biertemperatur. Aber weitere Faktoren werden oft zu wenig berücksichtigt. Sie sollen in diesem Artikel dargestellt und erläutert werden.

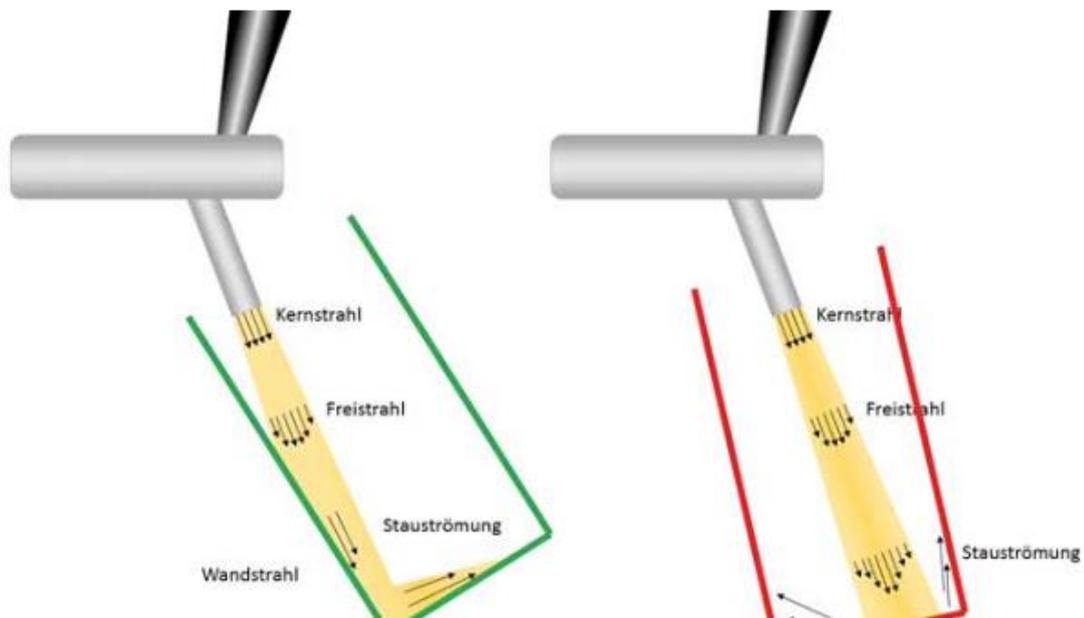


Die Qualität des Zapfens hat sich in den letzten Jahren signifikant verbessert (Foto: Die Freien Brauer GmbH & Co. KG)

Dass das 7-Minuten-Pils längst der Vergangenheit angehört, hat sich mittlerweile allgemein herumgesprochen. Dank zahlreicher Untersuchungen zum idealen Sättigungs- und Betriebsdruck ist es zusammen mit der heute vorhandenen Technik kein Hexenwerk mehr, ein Bier mit appetitlicher Schaumkrone und guter Rezens in akzeptabler Zeit zu zapfen. Aber immer wieder kommt es vor, dass am Zapfhahn die sprichwörtliche Schaumparty abgeht und das Zapfpersonal zur schieren Verzweiflung treibt. Die Ursachen für solche Situationen sind leicht in den Griff zu bekommen, wenn ein paar Randbedingungen beachtet werden. Eine größere Herausforderung stellt allerdings die Situation dar, dass das Bier zwar „schwarz“ aus dem Hahn läuft, aber trotzdem im Glas nur Schaum entsteht.

Reynoldszahl als wichtigste Basis

Um strömungsmechanische Effekte richtig verstehen zu können, ist die Betrachtung der Reynoldszahl (Re) unumgänglich. Diese dimensionslose Kennziffer beschreibt in Abhängigkeit von Dichte, Strömungsgeschwindigkeit, Rohrdurchmesser und dynamischer Viskosität das Verhältnis von Trägheits- zu Zähigkeitskräften. Unter der Berücksichtigung der notwendigen Randgrößen liegt bei langsamem Fluss eines Mediums eine sogenannte laminare Strömung vor, bei höheren und hohen Fließgeschwindigkeiten turbulente Strömung. In der Literatur wird diese Geschwindigkeitsverteilung gerne mit einem Vektorprofil in einer Rohrleitung dargestellt, bei der in der laminaren Strömung eine Art Schichtung gezeigt wird, während die Darstellung der turbulenten Strömung einen intensiven Stoffaustausch über den Strömungsquerschnitt beschreibt. Bildlich kann man sich diese beiden Zustände auch mit einem ruhigen Meer (laminare Strömung) im Gegensatz zu einer stürmischen See (turbulent) vorstellen oder mit dem langsamen (laminar) bzw. schnellen (turbulent) Einschenken einer Flasche Weißbier in ein Glas, was für manchen Biertrinker immer noch eine gewisse Herausforderung darstellt.



Darstellung verschiedener Strömungsarten beim Einfüllen in ein Bierglas; links schonende Methode, rechts Methode mit vermutlich starker Schaumentwicklung

Fluid Bier: ein Zweistoffgemisch

Eine besondere Berücksichtigung bei der Strömungsbetrachtung von Bier müssen zwei wichtige Eigenschaften des Bieres erhalten. Bei Bier handelt es sich, wie bei allen karbonisierten Getränken, um ein sogenanntes Zweistoffgemisch. Die kontinuierliche Phase des Bieres beinhaltet dabei physikalisch gelöstes CO_2 . Wäre das CO_2 chemisch gebunden, gäbe es weit weniger Probleme mit Schaumbildung, aber es würde beim Trinken auch nicht freigesetzt werden.

Viele strömungsmechanische Betrachtungen ziehen als Beispiele Wasser oder Öl als Fluid heran. Da sich aus diesen Flüssigkeiten – außer sich evtl. bildenden Dampfphasen – keine nennenswerten Gasentbindungen einstellen, ist es kein Problem, beispielsweise mit der Bernoulli-Gleichung Druckauslegungen durchzuführen. Beim Zweistoffgemisch Bier allerdings ist in hydraulischen Systemen stets darauf zu achten, dass der benötigte Sättigungsdruck nicht unterschritten wird.

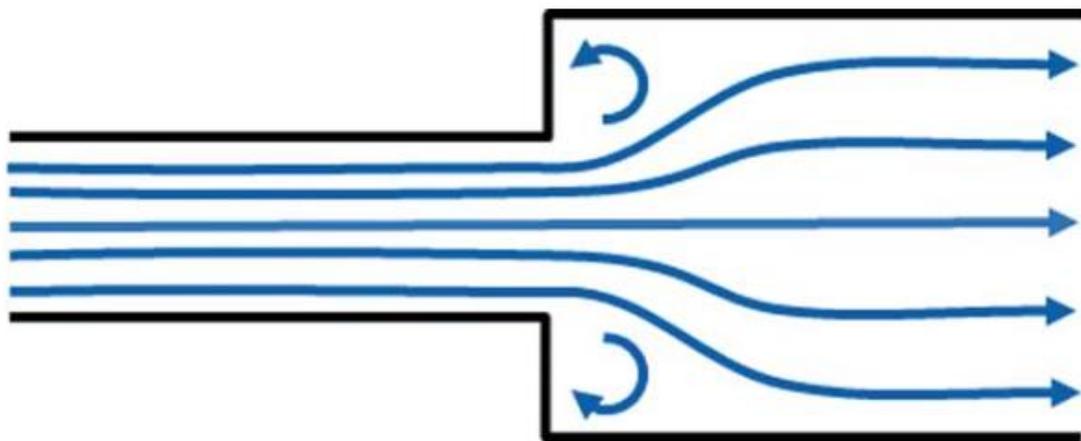
Der Eigenschaft Zweistoffgemisch ist es im Fall des Bieres aber auch geschuldet, dass der in den meisten Regionen gewünschte Schaum in der entsprechenden Menge im Bierglas entstehen kann. An dieser Stelle kommt die zweite Herausforderung des Bieres mit ins Spiel. Andere Getränke zeigen meist nur ein kurzes Aufschäumen, dieses verschwindet jedoch nach relativ kurzer Zeit wieder, sehr oft sogar ohne dass es der Anwender mitbekommt. Anders verhält es sich beim Bier, das durch das Austreten des CO_2 eine recht stabile Schaumkrone ausbildet. Gerade beim Einschenken in ein Glas ist das nicht erwünscht, da entweder der notwendige Füllgrad im Glas nicht gleich erreicht werden kann oder – bei ungeduldigen Zapfern – eine signifikante Menge an Bier verloren geht.

Was sind Ursachen des Schäumens?

Das Bier kann in Bezug auf den CO_2 -Gehalt in drei Klassen geteilt werden: lack, mit gewünschtem CO_2 -Gehalt und aufkarbonisiert. Gerade die letztgenannte Eigenschaft führt häufig zum Schäumen am Hahn. Der entgegengebrachte Sättigungsdruck reicht nicht mehr aus, das CO_2 bleibt nicht Lösung. Bereits in der Leitung bilden sich Gasblasen, die vor allem bei der Verwendung von Kompensatorhähnen zu starker Schaumbildung am Auslauf führen. Dies ist mit Sicherheit die häufigste Ursache von Zapfproblemen. In der Regel werden dann die Merkmale CO_2 -Gehalt des Bieres, Temperatur und eingestellter Sättigungsdruck kontrolliert.

Stimmen diese mit den Anforderungen überein und es schäumt trotzdem, steht der Anwender unter Umständen vor einem Problem, das es zu lösen gilt. Die Ansätze hierfür sind unterschiedlich, aber immer wieder auf die Stoffeigenschaften des oben erwähnten Zweistoffgemischs zurückzuführen.

Die Konstruktion der Schankanlage spielt dabei eine wichtige Rolle. Wird z.B. nach einer dünnen Leitung der Querschnitt im Hahn spontan vergrößert, können Effekte des Carnot'schen Stoßdiffusors auftreten. Dieser kann zu turbulenten Strömungsverhältnissen führen, welche die Entbindung des CO_2 begünstigen.



Schematische Darstellung des Carnot-Effekts bei spontanen Querschnittsveränderungen

Manchmal ist auch der verwendete Zapfhahn selbst eine Ursache für Schaumbildung. Dies betrifft insbesondere Kompensatorhähne. Es ist weitestgehend bekannt, dass durch den engen Spalt zwischen Gehäuse und Kompensator in der Leitung entstandene Gasblasen förmlich zerrissen werden. Die Reaktion des Zapfers ist dabei häufig, den Volumenstrom herunterzuregulieren. Was er dadurch erreicht, ist eine Verringerung der Reynoldszahl, wodurch die Entbindung von CO₂ unterdrückt wird. Eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeit hingegen führt zu turbulenter Strömung mit erhöhter Schaumentwicklung.

Allerdings gibt es den Fall, dass in der Leitung kein Entbinden festgestellt werden kann, am Hahn aber trotzdem nur Schaum austritt. Hier ist dann im Hahn selbst mit seinem Kompensator die Ursache zu suchen. Neben schlecht gearbeiteten Oberflächen spielt hier vor allem der Kompensator selbst eine entscheidende Rolle: ein sehr kurzer oder ein frei schwimmender Kompensator. Ersterer erzeugt dadurch, dass der Druck auf einer extrem kurzen Strecke abgebaut werden muss und der Kompensator daher einen sehr kleinen Ringspalt hat, bei hohen Volumenströmen sehr hohe Reynoldszahlen – mit dem bereits bekannten Effekt. Zweiterer beginnt bei erhöhten Volumenströmen zu vibrieren, die Konsequenz hiervon ist bekannt. Es ist also ratsam, einen nicht zu kurzen und vor allem sicher in der Strömung liegenden Kompensator zu verwenden. Geführte Kompensatoren oder Kompensatoren aus Edelstahl versprechen hier effektive Besserung.

Ist das Austreten von Schaum aus dem Zapfhahn unter Kontrolle, kommt es dennoch immer wieder zu Problemen mit Schaum im Glas. Auch hierfür lassen sich eine Reihe von Ursachen durch die Strömungsverhältnisse erklären. Wie genau, das lest ihr nächste Woche im zweiten Teil des Beitrags von Dr. Johannes Tippmann.



Wie der Schaum aufs Bier kommt (Teil 2)

DR. JOHANNES TIPPMANN

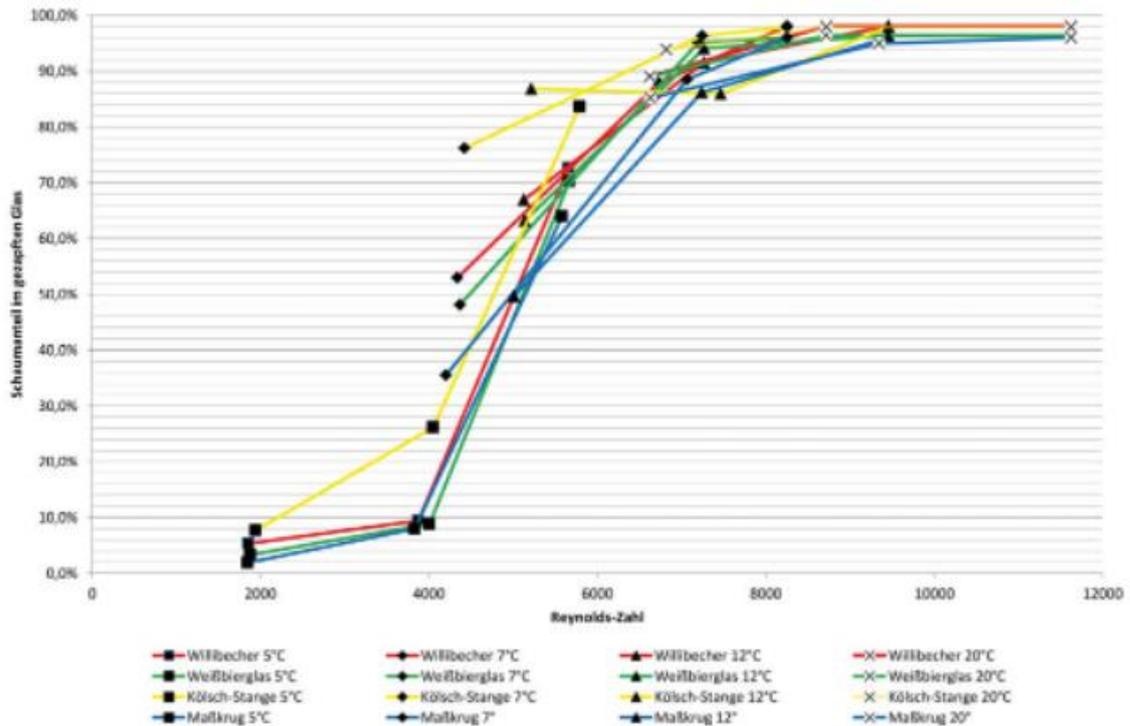
01. MÄRZ 2019

Fallen für den perfekten Bierschaum lauern überall. Im zweiten Teil des Beitrags von Dr. Johannes Tippmann lest ihr, was ihr auf den letzten Zentimetern vom Fass ins Glas beachten müsst. Damit könnt ihr euren Schaumlöffel dann endgültig entsorgen.

Nachdem wir in Teil 1 schon bis zum Kompensatorhahn gekommen sind, setzen wir den Bierweg jetzt fort und reden über den Einfluss der Zapfhahntülle, insbesondere den Durchmesser des Zapfhahns. Bei sehr filigran gearbeiteten Hähnen kann es schnell zu Problemen kommen: Bei einem definierten Volumenstrom nimmt die Fließgeschwindigkeit, von der die Reynoldszahl abhängig ist, bei kleineren Tüllendurchmessern sehr schnell zu und sorgt somit auf den letzten Drücker für eine turbulente Strömung. Ein größeres Schankgefäß, wie z.B. ein Maßkrug, kann die entstehenden Schaummengen bis zu einer gewissen Grenze sicher aufnehmen, bei einem kleinen Pilsglas oder einer Kölschstange stößt man aber schnell an ein Limit.

Für übliche Gaststätten werden Volumenströme von 2-5 l/min als ausreichend erachtet. Auf Großveranstaltungen oder Volksfesten ist der Bedarf allerdings höher. Da hier die gleichen physikalischen Anforderungen gelten, sind entsprechende Lösungen notwendig. Die Hahngröße stellt auch hier sowohl bei den (offenen) Hähnen des bayerischen Anstichs als auch bei eingesetzten Hochleistungskompensatorhähnen die Lösung dar. Die Vergrößerung des Auslaufdurchmessers sorgt erneut über den Zusammenhang von Volumenstrom mit Querschnitt dafür, dass die Fließgeschwindigkeit reduziert wird und dadurch keine kritischen Strömungszustände auftreten.

Heiko Mann untersuchte 2013 in seiner Bachelorarbeit „Strömungsmechanische Untersuchungen zum Einschenkverhalten von Bier“ an der TU München genau diese Effekte. Er konnte darin nachweisen, dass die Schaumbildung im Glas maßgeblich von der Austritts-Reynoldszahl abhängt und über die Glasgröße mit den darin entstehenden Strömungsverhältnissen abgepuffert werden kann. Die Reynoldszahlen wurden dabei durch Hahndurchmesser und Biertemperatur beeinflusst. Die kritische Austritts-Reynoldszahl wurde für ca. $Re=4000$ ermittelt (vgl. Abbildung). Die für die Berechnung der Reynoldszahl notwendige Viskosität ist abhängig von der Temperatur. Als verstärkender Effekt kommt bei warmem Bier hinzu, dass die Absorptionsfähigkeit von CO_2 in warmem Bier abnimmt und somit eine zusätzliche Freisetzung stattfindet.



Schaumverhältnisse in unterschiedlichen Biergläsern bei unterschiedlichen Temperaturen und Zapfgeschwindigkeiten: Der erste Messpunkt wurde bei einer Ausströmgeschwindigkeit von 1 l/min, der zweite bei 2 l/min und der dritte bei 3 l/min aufgenommen. Biersorte: Helles, Durchmesser Zapfhahnausläuftülle: 7 mm (Mann, 2013)

Das Einströmen in ein Bierglas

Um ein Bier schaumarm und schnell einzuschenken, verwendet die geübte Person die Technik des Schräghaltens des Glases. Meistens wurde diese Technik aus der Erfahrung angeeignet, aber auch dies lässt sich physikalisch erklären. Das Einströmen in ein Bierglas setzt sich aus mehreren Strömungseffekten zusammen, wobei der Freistrah und der Prallstrahl im Zentrum stehen.

Den Zapfhahn verlässt das Bier in einem sogenannten Kernstrahl. Die Geschwindigkeitsverteilung innerhalb der Flüssigkeit ist nahezu homogen über den Strahlquerschnitt. Durch die fehlende Führung durch das Metall des Hahnes weitet sich der Strahl, gebremst durch den Luftwiderstand, auf. Im Kern bleibt die Fließgeschwindigkeit hoch, während die Randbereiche durch die Luft abgebremst werden. Hierbei können bereits leichte Freisetzen von CO₂ durch auftretende Verwirbelungen auftreten.

Den weitaus größeren Einfluss auf die CO₂-Entbindung hat das sich anschließende Aufprallen auf die Glasoberfläche. Erfolgt dies in einem relativ kleinen Winkel, wird sich der Freistrah in einen Wandstrahl wandeln, bei dem laminar bis laminar-turbulente Strömungszustände vorliegen. Diese von vielen Schankellnern angewandte Technik führt zu mäßiger Schaumbildung. Ist die Staustromung im Bodenbereich zu groß, werden auch hier wieder turbulente Verhältnisse herrschen und eine vermehrte CO₂-Entbindung verursachen. Zu beobachten ist dieses Strömungsverhalten bei kleinen Gläsern, wie z.B. den Kölschstangen. Bei Maßkrügen hingegen wird sich diese Staustromung viel weniger ausbilden, wodurch sich in große Gläser wesentlich einfacher oder schneller einschenken lässt.

Falls beim Einfließen von Bier der Strahl aus dem Zapfhahn direkt auf den Glasboden geleitet wird, dann ist am Glasboden eine Prallströmung zu beobachten, die sich radial in eine Staustromung wandelt. Hier führt die gesamte Energie zu einer starken turbulenten Strömung.

Zusammenfassung

Die Qualität des Einschenkens hat sich in den letzten Jahren signifikant verbessert. Dennoch gibt es immer wieder Probleme beim Einschenken von Bier. An Schankanlagen wird beim Schäumen häufig eine falsche Karbonisierung des Bieres vermutet, was sich in vielen Fällen auch bewahrheitet. Allerdings spielen die Strömungsverhältnisse in der Leitung, am Zapfhahn und im Bierglas eine nicht zu unterschätzende Rolle. Ursache und Wirkung sind dabei stets gleich. Durch folgende Zusammenhänge wird dies einfach beschrieben:

- Je höher die Fließgeschwindigkeit, desto höher die Reynoldszahl;
- je höher die Temperatur, desto geringer die Viskosität, desto höher die Reynoldszahl;
- je höher die Temperatur, desto geringer der Absorptionskoeffizient von CO₂ im Bier.

Maßnahmen, um ungewolltes Schäumen zu vermeiden, können neben dem klassischen, aber nicht immer anwendbaren Hochdrehen des Betriebsdrucks aus diesen Feststellungen leicht getroffen werden.



Bei perfekt eingestellter Fließgeschwindigkeit, Temperatur und Betriebsdruck zapft man das Bier mit dem perfekten Schaum (Foto: rawpixel auf unsplash.com)