

Druckschläge in geschlossenen Systemen im Brauereibereich und deren Folgen

DRUCKSTÖSSE VERMEIDEN | Druckschläge in Rohrleitungs- oder sonstigen Systemen können in Brauereien häufig akustisch wahrgenommen werden. Staubpartikel am Boden unter Rohrleitungstrassen, welche von den Wandverschraubungen der Halterungen stammen, zeugen von der Heftigkeit derartiger Phänomene. Diese mechanische Belastung von Anlagenteilen führt nicht nur zu vorzeitigem Verschleiß derselben, sondern kann auch, in bestimmten Situationen, das fertige Produkt Bier gefährden, sei es mikrobiologisch oder durch unbeabsichtigte Kontamination mit Reinigungs- bzw. Desinfektionsmittel.

DIE VDI-GESELLSCHAFT ENTWICKLUNG KONSTRUKTION VERTRIEB

(VDI-EKV) hat im Juni 2004 eine neue Richtlinie herausgegeben. Diese Richtlinie VDI 3842 „Schwingungen in Rohrleitungssystemen“ umfasst die praxisorientierte Darstellung von Schwingungsphänomenen in Rohrleitungssystemen von Anlagen. Sie behandelt Berechnungsmethoden zur Erfassung und zum Nachweis der Belastungen von Rohrleitungssystemen und geht auf Messverfahren zur Analyse von Rohrleitungsschwingungen, sowie auf Methoden zur Bewertung von Schwingungen und schwingungs-induzierten Beanspruchungen ein. Zudem nennt sie Maßnahmen, um Schwingungsprobleme besser zu beherrschen (1).

Bei allen Druckschlägen in Rohrleitungen handelt es sich um Druckschwingungen, wobei die Höhe der Amplitude und die Schwingungsdauer im Wesentlichen von folgenden Kriterien bestimmt werden:

- Geschwindigkeit des Mediums;
- Rohrrinnen- und Außendurchmesser;
- Länge der Rohrleitung;
- Schließzeit des Absperrorgans;
- Dichte des Mediums;
- Elastizitätsmodul des Mediums;
- Elastizitätsmodul des Rohrwerkstoffs;
- Schallgeschwindigkeit.

Definition von Druckschlägen in geschlossenen Systemen

Ein Druckstoß entsteht, wenn die Zeit der Änderung der Strömungsgeschwindigkeit bzw. des Massenstroms eine Grenzwertzeit t_{Grenz} (auch als Reflexionszeit t_{R} bezeichnet) unterschreitet. Wird an einer Stelle (Störstelle) der Rohrleitung eine Änderung (dw) der Strömungsgeschwindigkeit (w) mit $t \leq t_{\text{Grenz}}$ vorgenommen, so tritt infolge der Umwandlung der kinetischen Energie in andere Energieformen eine Änderung (dp) des statischen Druckes (p) auf.

Erfassung und Aufzeichnung von Druckschlägen

Druckspitzen entstehen in Bruchteilen einer Sekunde. Um diese exakt zu erfassen, werden für die Aufzeichnung Messverstärker eingesetzt, wobei die herkömmlichen Abtastraten von 100 auf 2000 Samples/s verstärkt werden, und so die tatsächlichen Druckspitzen besser dargestellt werden können.

DRUCKSCHWINGUNGEN BEI UMSTELLVORGÄNGEN WÄHREND EINER ROHRLEITUNGSREINIGUNG

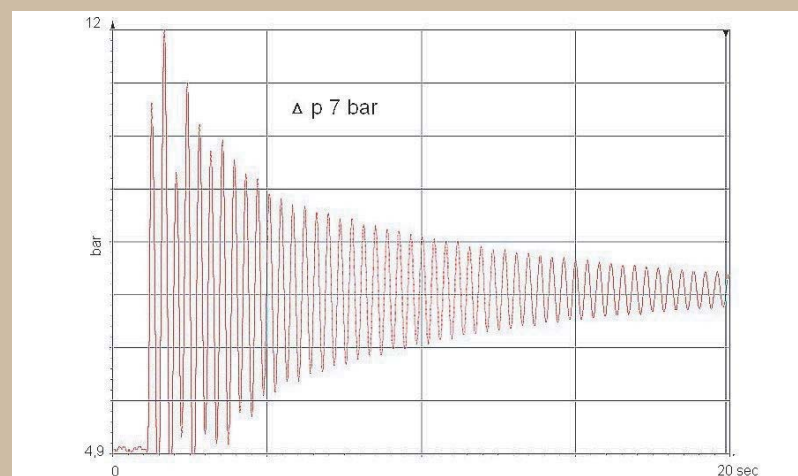


Abb. 1

Autoren: Josef Englmann, Forschungszentrum Weihenstephan für Brau- und Lebensmittelqualität, Freising, und Volker Moser, resom research-solutions-moser, Graz/A

DRUCKVERHÄLTNISSSE (EINLAUF UNPASTEURISIERT/ AUSLAUF PASTEURISIERT) AN EINER KURZZEIT- ERHIZUNGSANLAGE

bei Änderung der Durchflussgeschwindigkeit

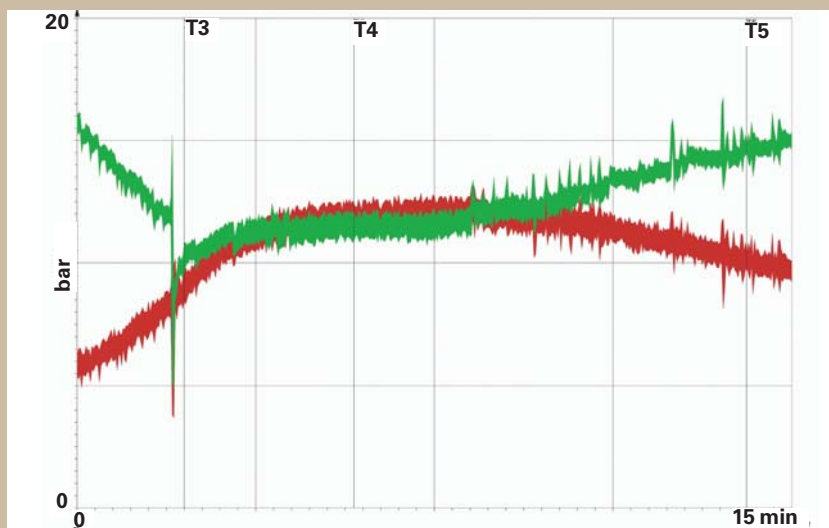


Abb. 2

PASTEUREINHEITEN (BIER) BEI VERSCHIEDENEN TEMPERATUREN UND HEISSHALTEZEITEN

| Biertemperatur °C | Heißhaltezeit | |
|-------------------|---------------|---------|
| | 1 min | 30 sec. |
| 70 | 28 | 14 |
| 71 | 38 | 19 |
| 72 | 53 | 27 |
| 73 | 74 | 37 |
| 74 | 104 | 52 |
| 75 | 144 | 72 |
| 76 | 201 | 101 |
| 77 | 280 | 140 |
| 78 | 390 | 195 |
| 79 | 543 | 272 |

Tab. 1

Entstehung von Druckschlägen in geschlossenen Systemen

Mögliche Ursachen für Druckschläge sind vielfältig, z.B.:

- abruptes Stoppen von im Fluss befindlichen Flüssigkeiten;
- Umschaltvorgänge – Veränderung des Druckniveaus;
- Ein- und Ausschalten der Pumpen;
- Schaltvorgänge mit Regelventilen und Ventilkombinationen;
- Dosierpumpen;

- Stromausfall und Not Aus.

Messungen in der Praxis zeigen, dass beispielsweise bei einem Umstellvorgang an der CIP-Anlage während einer Rohrleitungsreinigung, beträchtliche Druckstöße auftreten können (Abb. 1).

Folgen von Druckschlägen

Die Folgen von Druckschlägen in Rohrleitungs- und anderen Systemen können vielfältig sein. Manche Konsequenzen von Druckstößen sind relativ leicht zu erkennen,

wie verbogene Klappenventile aufgrund der Tatsache, dass diese nicht mehr geöffnet oder geschlossen werden können. Die meisten Auswirkungen sind oft nur schwer erschließbar und haben teilweise gravierende Folgen, hinsichtlich Produktqualität, wie Haarrisse in Wärmetauscherplatten von KZE-Anlagen oder Würzekühlern.

Druckschläge reduzieren die Funktionalität bzw. Lebensdauer von:

- Leitungen: Materialermüdung, Bruch-Haarrisse bei Schweißnähten;
- Plattenapparate: Haarrisse bei Platten;
- Membranen: Membranbrüche;
- Separatoren: erhöhte mech. Abnutzung/Serviceintervalle;
- Messeinrichtungen: Materialbeanspruchung/Zerstörung;
- Ventile u. Klappen: Deformierung von Komponenten, Aufdrücken und Überlastung des Leckageraumes;
- Etc.

Weniger offensichtliche Auswirkungen von Druckschlägen in Systemen werden nachfolgend an einigen ausgewählten Beispielen dargestellt. In der Praxis durchgeführte Druckmessungen erfolgten mit einem Messverstärker, welcher in der Lage ist, 2000 Messwerte pro Sekunde aufzunehmen, im Gegensatz zu den ansonsten maximal üblichen 100 Messwerten pro Sekunde. Dadurch ist es möglich, selbst kürzeste Druckspitzen genau und realistisch zu erfassen. Mit in Anlagen (KZE, CIP, etc.) üblichen Druckschreibern ist es unmöglich, die wahre Höhe von Druckschlägen zu erfassen, was sicherheits- und kostenrelevante Konsequenzen haben kann.

Kreuzkontaminationen an Kurzeiterhitzungsanlagen

Alle KZE-Anlagen sind mit einer Wärmetauschzone ausgestattet, damit die Energie des abzukühlenden Bieres zurückgewonnen werden kann. Aus Sicherheitsgründen sollte der Druck im Bier auf der zu kühlenden Seite um mehrere bar höher sein als auf der zu erwärmenden Seite. Dies ist sinnvoll, da bei einem Haarriss in einer Wärmetauscherplatte das keimfreie Bier, nach der Heißhaltezone, in das u.U. noch kontaminierte Bier auf der zu erwärmenden Seite gedrückt wird und nicht umgekehrt. Die Ausführung von KZE-Anlagen mit einem derartigen „positivem Druckgefälle“ ist seit Jahren Stand der Technik. Trotzdem kann es, selbst bei relativ neuen Anlagen, unter

bestimmten Bedingungen kurzzeitig zu einer Umkehrung der Druckverhältnisse kommen, wie Praxis-Messungen zeigen (Abb. 2).

Aus den Messwerten wird ersichtlich, dass während einer Änderung der Durchflussgeschwindigkeit für eine Zeit von ca. drei bis vier Minuten der Bierdruck in der unpasteurisierten Einlaufseite höher war als in der pasteurisierten Auslaufseite. Sind bierschädliche Bakterien oder Hefen zulaufseitig vorhanden, so ist je nach Keimbelastung eine kurzfristige, mehr oder weniger starke Kontamination des bereits pasteurisierten Bieres zu erwarten. Voraussetzung für eine Kontamination des kurzzeiterhitzten Bieres ist aber ein Haarriss in mindestens einer der Wärmetauscherplatten in diesem Bereich.

Die Ursachen bei derartigen Problemen sind oft nur sehr schwer nachzuweisen, da einerseits die Kontrolle der Tauscherplatten auf Risse mit einem entsprechenden Aufwand verbunden ist, andererseits die eingestellten Parameter an der KZE-Anlage, wie Temperatur des Bieres, Durchfluss etc., keine Auffälligkeiten erkennen lassen.

Unterschreitung des Kohlendioxid-Sättigungsdruckes in der KZE-Anlage

Wird im Bier, welches sich in der Heißhaltezone befindet, auch nur kurzzeitig der Kohlendioxid-Sättigungsdruck bei der jeweiligen Temperatur unterschritten, entsteht Schaum. Ist dies der Fall, so ist der gewünschte mikrobiologische Effekt (Abtötung aller Keime im Bier) nicht mehr gewährleistet. Im Schutz der „isolierenden“ Gasblasen ist es Keimen möglich, die KZE-Anlage lebend zu passieren, da dann die vermuteten Pasteureinheiten mit Sicherheit nicht mehr erreicht werden. Selbst wenn durch eine gewisse Hitzeeinwirkung die Lebensfunktionen der Keime etwas eingeschränkt sind, sind sie in der Lage sich im Bier der abgefüllten Gebinde zu vermehren, wenn auch häufig etwas verzögert. In einem Praxisfall zeigte eine Standprobe erst nach 26 Tagen einen positiven Befund. Keime, welche aus selbiger Haltbarkeitsprobe in ein pasteurisiertes Bier übergeimpft wurden (vitale Keime), ergaben bereits nach zehn Tagen ein positives Resultat in der Standprobe. Dadurch konnte gezeigt werden, dass bei einer unzureichenden Kurzzeiterhitzung (Schaum im Bier) zwar die Vitalität der Keime abnimmt, die

KOHLensäURESÄTTIGUNGSDRUCK IM BIER BEI HÖHEREN TEMPERATUREN (1)

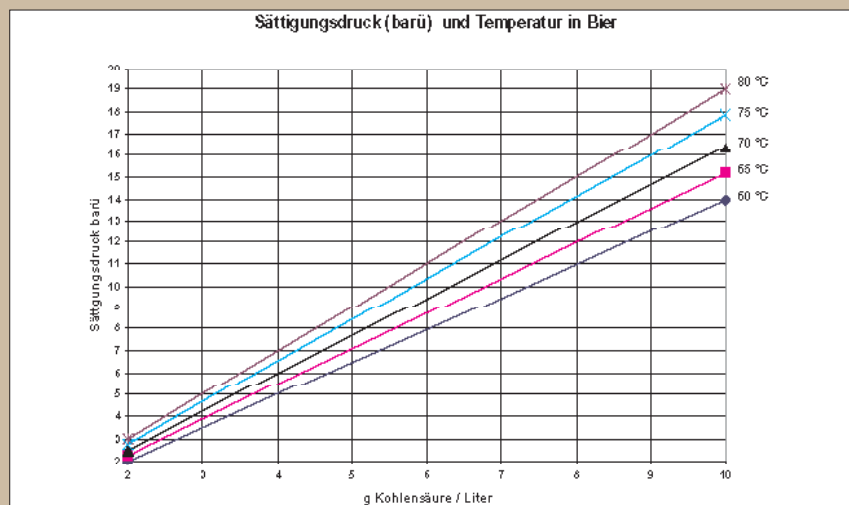


Abb. 3

Organismen aber trotzdem vermehrungsfähig sind, sofern der Entwicklungszeitraum entsprechend groß ist.

Für die Laborarbeit in Brauereien ist dies von erheblicher Bedeutung. Bei Proben mit schwach vitalen Keimen ist es durchaus möglich, dass bei den betriebsintern gewählten Bebrütungsbedingungen der Anreicherungsproben, die Bebrütungszeit nicht ausreicht um die Keime nachweisen zu können, im Gegensatz zu vitalen Keimen. Insbesondere bei der Kurzzeiterhitzung

von trüben Hefeweizenbieren, welche mit Tankgärung hergestellt werden (hohe CO₂-Gehalte), besteht ein erhöhtes Risiko.

Hefeweizenbiere werden häufig unfiltriert/zentrifugiert mittels Kurzzeiterhitzung behandelt. Durch die Tatsache, dass im Bier z.T. noch größere Partikel vorhanden sind, werden häufig höhere Pasteureinheiten zwischen 100 und 200 PE angewendet.

Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass für 100 bis 200 PE, bei einer Heißhaltezeit von 60 Sekunden, Temperaturen von ca. 74 °C

DRUCKVERHÄLTNISS E AM KURZZEITERHITZER WÄHREND EINES DRUCKTANKWECHSELS

– rote Kurve Druck auslaufseitig/blau Kurve Druck einlaufseitig

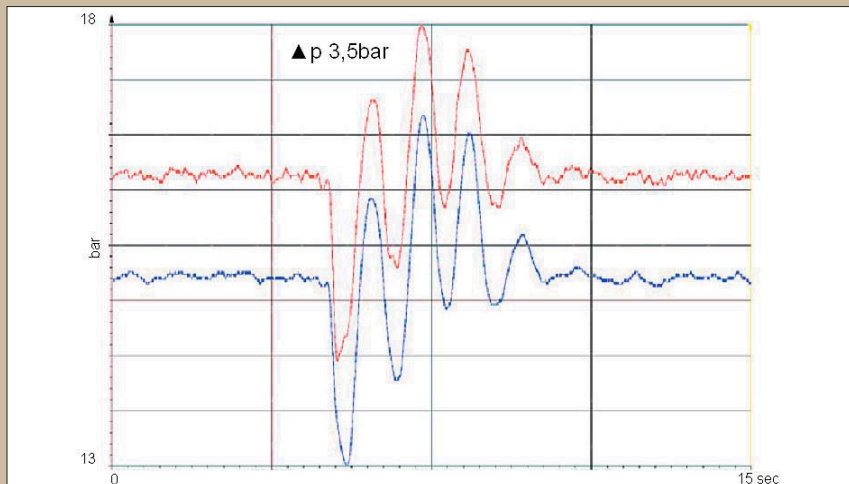


Abb. 4

DRUCKVERHÄLTNISSE AM MEMBRANFILTER BEI FÜLLERSTOPP

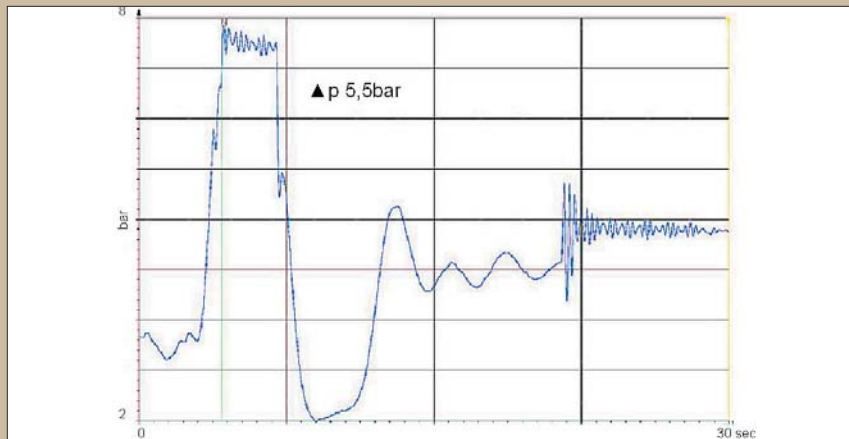


Abb. 5

DRUCKVERHÄLTNISSE BEI CIP-REINIGUNG EINES ZKT'S BEIM UMSCHALTVORGANG, GEMESSEN AM REINIGUNGSVORLAUF AM VENTILKNOTEN

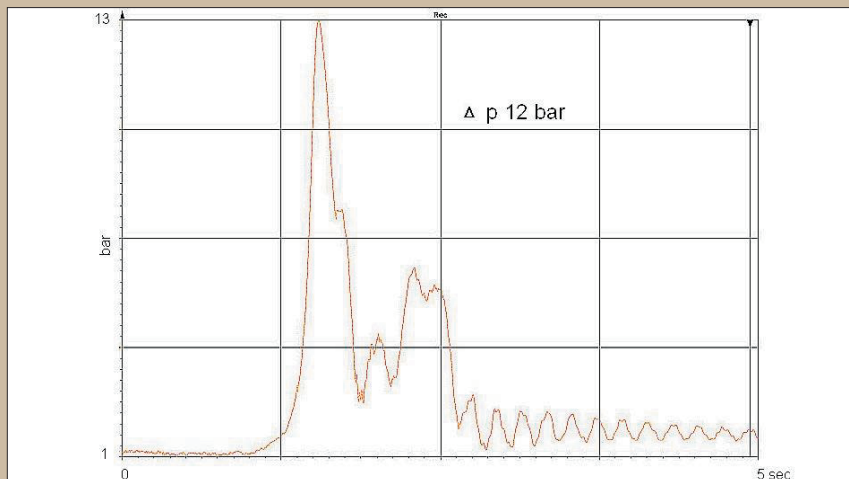


Abb. 6

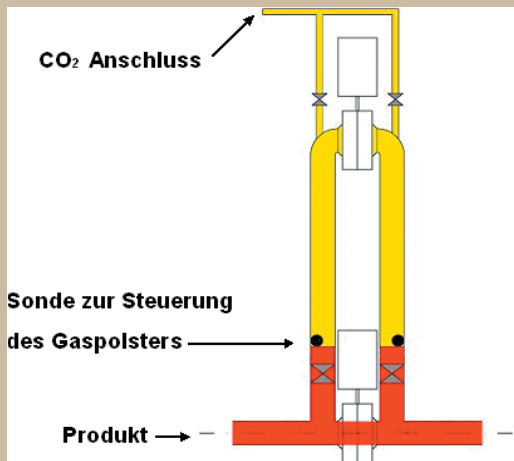


Abb. 7 Pulsationsdämpfer

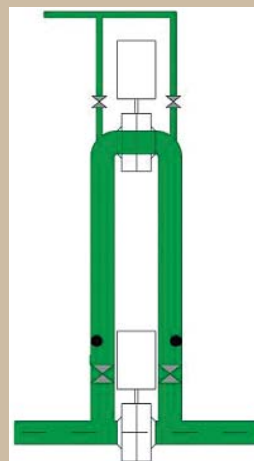


Abb. 8 Reinigung

bis 76 °C erforderlich sind bzw. 76 °C–78 °C bei Heißhaltezeiten von 30 Sekunden.

Wird das Hefeweizenbier mittels Tankgärung hergestellt, so enthält es Kohlensäuregehalte von ca. 6 bis 8 g/l, häufig mehr als untergärige Biere. Diese beiden Einflussgrößen, höhere Temperaturen im Kurzzeiterhitzer und höhere CO₂-Gehalte führen dazu, dass der Kohlensäuresättigungsdruck im Bier entsprechend ansteigt (Abb. 3).

Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass beispielsweise bei einer KZE-Anlage mit einer Heißhaltezeit von 30 Sekunden und gewünschten 150 PE etwas mehr als 77 °C erforderlich sind. Enthält das Hefeweizenbier z.B. ca. 7 g/l Kohlensäure, so resultiert aus diesen Bedingungen ein Kohlensäuresättigungsdruck von etwas mehr als 12,5 barü. (Abb. 3) Wird dieser Bierdruck in der KZE-Anlage auch nur kurzfristig unterschritten, entsteht in der Anlage Bierschaum mit den angesprochenen negativen Folgen.

Viele KZE-Anlagen, welche ursprünglich für untergäriges Bier gekauft wurden, sind für Drücke von maximal 13 bis 15 barü ausgelegt und somit im Bereich des Kohlensäuresättigungsdruckes des obigen Beispiels. Sind im System auch noch Druckschwankungen gegeben, so ist eine Unterschreitung des Kohlensäuresättigungsdruckes zu erwarten.

Besondere Risikobereiche für Druckschwankungen sind zu erwarten:

- in der Anfahrphase;
- bei Durchflussänderungen;
- bei Umstellungsvorgängen;
- beim Nachdrücken mit Wasser.

Im folgenden Beispiel sind die Druckverhältnisse an der KZE-Anlage während eines Drucktankwechsels dargestellt (Abb.4).

Die Druckeinstellungen liegen in diesem Fall bereits relativ hoch bei ca. 15 bzw. 17 bar. Es ist zu erkennen, dass nach einem Druckabfall von ca. 2 bar und ca. 5 Sekunden Druckschwankungen folgen, bis die ursprünglichen Werte wieder erreicht werden. Bei niedrigeren Ausgangsdrücken kann dies bei hohen Heißhaltetemperaturen und entsprechenden Kohlensäuregehalten im Bier zu einer Unterschreitung des Kohlensäuresättigungsdruckes führen.

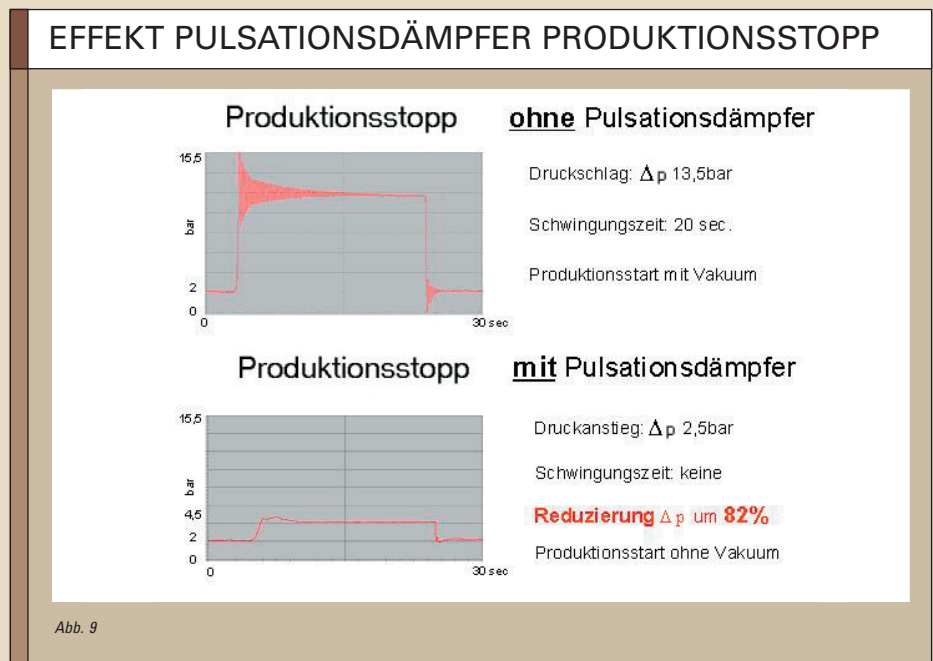
Druckstöße an Membranfilteranlagen

Für eine kaltsterile Abfüllung von Bier werden bevorzugt Membranfilter am Füllereingang des jeweiligen Füllgerätes eingesetzt.

Die spezifischen Filtrationskosten hängen entscheidend davon ab, wie lange ein Filtersatz hält, d.h. wie viel Biervolumen filtriert werden kann, bevor er verblockt und ausgetauscht werden muss. Druckstöße, wie sie teilweise beim Schließen der Bierleitung (Füllerstopp) auftreten, dürften je nach Häufigkeit und Heftigkeit des Druckschlages, die Standzeit der Filtermembran reduzieren (Abb. 5).

Druckstöße bei Reinigungsvorgängen

Abbildung 6 zeigt, dass auch bei Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen an Tanks bzw. Rohrleitungen unter ungünstigen Umständen deutliche Druckschläge im System auftreten können. Inwieweit bei diesen Verhältnissen Reinigungs- bzw. Desinfektionsmittel in eventuell vorhandene



DRUCKVERHÄLTNIS AN EINER KZE IM STATUS „WASSER AUSSCHIEBEN“ MIT UND OHNE PULSATIONS DÄMPFER

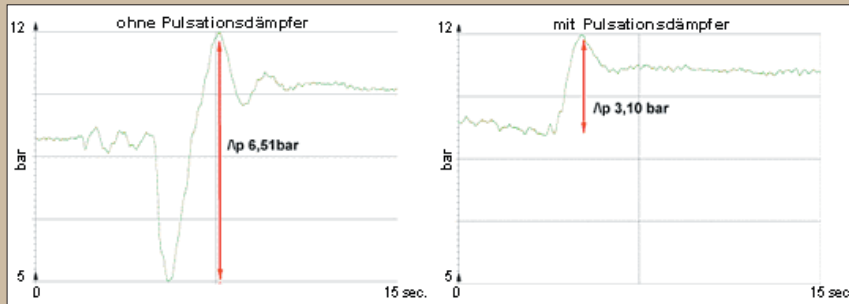


Abb. 10

DRUCKVERHÄLTNIS AN EINER KZE IM STATUS „SORTENWECHSEL“ MIT UND OHNE PULSATIONS DÄMPFER

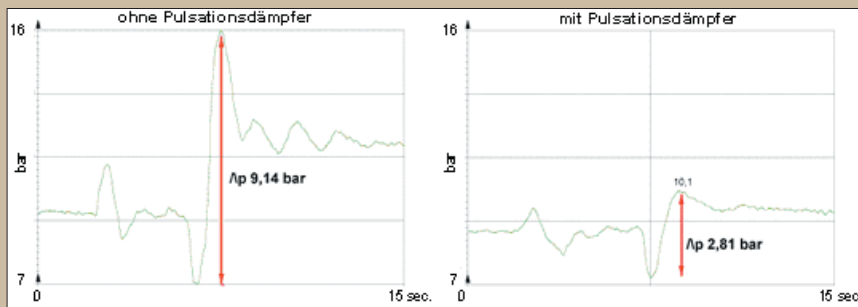


Abb. 11

Nachbarleitungen gelangen, welche mit Produkt gefüllt sind, ist abhängig von den jeweiligen Absperrorganen und deren einwandfreier Funktion.

Vermeidung von Druckstößen in Rohrleitungssystemen

Zur Vermeidung von Druckschlägen in Systemen gibt es verschiedene Alternativen:

- Abstimmung von Regler- u. Ventilschaltzeiten;
- Luftdrossel bei Pneumatikzylinder;
- Sanftanlauf für Pumpen.

Eine relativ einfache Methode besteht darin, einen sog. Pulsationsdämpfer einzusetzen, welcher mittels Gaspolster die Druckschläge abfängt.

Grundaufbau Pulsationsdämpfer (2)

Das erforderliche Gaspolster wird in einem U-förmigen Rohr aufgebaut, welches im Bypass zur Hauptleitung geschaltet ist. Über einen Gasanschluss wird das nötige

Gasvolumen zugeführt. Sonden steuern die Anlage (Abb.7). Durch Aufrechterhaltung eines definierten Gaspolsters über die Sondensteuerung, erfolgt eine zuverlässige Abpufferung von Druckschlägen im Produkt.

Durch den einfach gehaltenen Aufbau des Pulsationsdämpfers gestalten sich die Reinigung und Desinfektion unkompliziert. Die in der Brauerei übliche Sterilisationstemperaturen sind ebenfalls kein Problem (Abb. 8).

Effekt eines Pulsationsdämpfers

Der Effekt eines Pulsationsdämpfers ist nachfolgend an ausgewählten Beispielen dargestellt.

Resonanzreduzierung bei Produktionsstop Füllereingang

Werden Klappenventile eingesetzt, welche im Bedarfsfall den Bierzufluss unterbrechen, z.B. am Füllereingang bei Produktionsstop, entstehen beim Verschließvorgang unter ungünstigen Bedingungen deutliche Druckschläge. In Abbildung 9 sind die Druckver-

hältnisse in einer Füllereingangsleitung dargestellt, wenn über ein Klappenventil der Bierfluss abrupt gestoppt wird. Die anfängliche Druckerhöhung beträgt ca. 13,5 bar. Nach dem Öffnen des Ventils sinkt der Druck kurzfristig ab, bis in den Vakuumbereich. Das CO₂-Gleichgewicht wird dadurch erheblich gestört. Im Gegensatz hierzu erhöht sich der Druck im System beim Schließen des Klappenventils mit Pulsationsdämpfer nur geringfügig um ca. 2,5 bar. Auch beim erneuten Öffnen des Ventils erfolgt kein Druckabfall im Vakuumbereich.

Resonanzreduzierung an einer KZE – Status „Wasser ausschieben“

Je nach Ausführung der Peripheriegeräte um die KZE-Anlage (Ventile, Klappen etc.) können bereits im Status „Wasser ausschieben“ Druckschwingungen in der KZE-Anlage auftreten (Abb.10).

Insbesondere eine Unterschreitung des notwendigen Sättigungsdruckes der Kohlensäure im Bier innerhalb der Heißhaltezone einer Kurzzeiterhitzungsanlage kann die Funktionsfähigkeit der Anlage gefährden.

Abbildung 11 zeigt die Druckverhältnisse an einer KZE-Anlage jeweils mit und ohne Pulsationsdämpfer im Status Sortenwechsel.

Zusammenfassung

Druckschläge sind in Brauereien ein häufiges, vor allem hörbares Phänomen. Die Auswirkungen von Druckstößen auf das abgefüllte Produkt können vielfältig sein. Neben offensichtlichen Auswirkungen von Druckschlägen (z.B. Deformation und Zerstörung von Anlagenteilen) sind es gelegentlich schwer erschließbare Effekte, welche die Produktsicherheit gefährden. Einige dieser Auswirkungen und deren Folgen werden beschrieben. Zur Vermeidung von Druckschlägen in Rohrleitungssystemen oder sonstigen Aggregaten gibt es einige Alternativen. Eine relativ einfache Möglichkeit zur Vermeidung von Druckschlägen wurde durch den Einsatz eines patentierten (3) Pulsationsdämpfers dargestellt.

Literatur

1. VDI-3842; Schwingungen in Rohrleitungssystemen; Beuth Verlag, 10772 Berlin.
2. Manual of Good Practice, Fermentation & Maturation, EBC, S. 133, 2000, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg.
3. Patentnummer AT 411386B.