

Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei (VLB) in Berlin e.V.
Department for Brewing & Beverage Science & Applications (BBSA)

**Beispielhafte Untersuchung und Validierung der Wasser- und
Energieeinsparpotentiale bei Reinigungsanlagen (CIP) sowie im
Bereich Abfüllung in Brauereien und Getränkeabfüllbetrieben**

Abschlussbericht über das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
geförderten Projekts mit dem Aktenzeichen Az 27893-23

von

Dr.-Ing. Deniz Bilge

Berlin, 23.12.2013

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Abbildungs- und Tabellenverzeichnis..... | 3 |
| Abkürzungen und Begriffe..... | 4 |
| 1. Zusammenfassung..... | 5 |
| 2. Einleitung..... | 6 |
| 3. Hauptteil..... | 9 |
| 3.1. Herangehensweise und vorbereitende Arbeiten..... | 9 |
| 3.2. Ergebnisse aus den Betrieben..... | 10 |
| 3.2.1. Würzwegreinigung..... | 11 |
| 3.2.2. Gär- und Lagerkeller (CIP-Reinigung..... | 13 |
| 3.2.3. Filterkeller..... | 23 |
| 3.2.4. Drucktankkeller..... | 27 |
| 3.2.5. Abfüllung..... | 27 |
| 3.2.6. Weitere Bereiche und grundsätzliche Erkenntnisse..... | 34 |
| 3.3. Verbreitung der Vorhabensergebnisse..... | 38 |
| 4. Fazit..... | 40 |
| 5. Literatur..... | 43 |

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abb. 1: Stapeltank nach Umstellung auf kombinierte Säure/Desinfektion
- Abb. 2: Zerfall von Peressigsäure in Salpetersäure
- Abb. 3: Temperaturabfall und Wasserverbrauch
- Abb. 4: Datenblatt des Pumpenherstellers
- Abb. 5: CIP-Stapelwassertank
-
- Tab. 1 Checkpunkte Würzewegreinigung
- Tab. 2: Spülwasserverbräuche der Tankreinigung in hl
- Tab. 3: Spülwasserverbräuche der Leitungsreinigung in hl
- Tab. 4: Maßnahmen zur Reduzierung der Frischwasserspülungen
- Tab. 5: Checkpunkte für Stapeltanks
- Tab. 6: Reduzierung der Sumpfbildung und Medienvermischung
- Tab. 7: Checkpunkte in der Filtration
- Tab. 8: Checkpunkte der Abfüllung
- Tab. 9: Betriebsdaten des Austauschermoduls
- Tab. 10: Erzielte Einsparungen durch Optimierungen vor Ort

Begriffe und Abkürzungen

| | |
|-------|--|
| CIP | Cleaning in Place; geschlossene automatische Reinigung |
| CSB | Chemischer Sauerstoffbedarf |
| FlaMa | Flaschenreinigungsmaschine |
| KMU | Kleine und mittlere Unternehmen |
| hl | Hektoliter |
| VLB | Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei |
| WW | Würzeweg |
| KG | Kieselgur |
| STW | Stapelwasser |
| FW | Frischwasser |
| Desi | Desinfektion |

3. Zusammenfassung

Fünfzehn Brauereien und Abfüllbetriebe wurden im Rahmen des durch die DBU geförderten Projektes mit dem Aktenzeichen Az 27893-23 untersucht. Ziel war es, die Frischwasserverbräuche in den CIP-Anlagen des Gär- und Lagerkellers, der Filtration und der Abfüllung zu erfassen, diese zu bewerten und entsprechend Wasser- und Energieeinsparpotentiale zu ermitteln. Von besonderem Interesse waren hier die Frischwasserverbräuche in den Spülschritten der Reinigungsprogramme und die Regelung der Wasserverbräuche der Flaschenwaschmaschine, der Bandschmierung und der Vakuumpumpen in der Abfüllung.

Es konnten, zum Teil unabhängig vom Alter oder Bauart der Anlagen, bisweilen enorme Optimierungspotentiale aufgedeckt werden. Es wurde sehr oft beobachtet, dass die Verantwortlichen Ihre Reinigungsprozesse kaum kennen oder, dass sie die Prozesse aus Sicherheitsgründen länger gestalteten als notwendig. So wurden unter anderem im Kaltbereich unnötig lange Spülzeiten in Absprache mit den Verantwortlichen verkürzt, Spülwässer wiederverwendet und Reinigungsschritte zusammengefasst. Bei allen durchgeführten Optimierungsmaßnahmen wurde die Qualität des Prozesses und Produktes nie aufs Spiel gesetzt. So wurde stets das letzte Spülwasser auf Reinigungsmittelrückstände kontrolliert sowie ein gewisser Sicherheitspuffer eingeplant. Gleiches galt für den Bereich der Abfüllung. Laufende Bandschmierungen, unregelmäßige Frischwasserzuläufe zur Flaschenwaschmaschine und laufende Flaschenduschen trotz Anlagenstillstand sind nur einige Beispiele, die unnötigen Wasserverbrauch verursachten. Durch Sensibilisierung der Mitarbeiter in kleineren Betrieben bzw. durch einfache, geringe Modifikationen in den Reinigungsprogrammen sowie geringe Investitionen, in einfachste Regeltechnik, bei komplexeren Betrieben, konnten diese unnötigen Verbräuche begrenzt werden.

Mit Hilfe der in diesem Projekt gemachten Erfahrungen war es möglich eine Optimierungsscheckliste zu erstellen, die für jeden Produktionsbereich der Brauerei Checkpunkte nennt und Maßnahmen vorschlägt. Die Verantwortlichen können anhand dieses Berichtes Schwachstellen suchen und die oftmals denkbar einfachen Lösungsansätze dann umsetzen. Die im Bericht aufgezeigten positiven Praxisbeispiele sollen die Verantwortlichen zum Handeln motivieren. Nicht unbeachtliche finanzielle Einsparungen sollen letztendlich nicht der einzige, aber ein vielleicht sehr attraktiver Grund sein sich mit diesem Thema zu befassen.

2. Einleitung

Die Entwicklung neuer Techniken im Bereich CIP-Anlagen und Abfüllmaschinen für die Brauerei- und Getränkewirtschaft führte in den letzten Jahren zu enormen Wasser- und Energieeinsparungen. Ein Beispiel hierfür ist ein durch die DBU mit Aktenzeichen Az 17136 gefördertes Projekt zur Entwicklung eines CIP-System, welches die Qualität und Effektivität der Reinigungen in Lebensmittelbetrieben verbesserte unter gleichzeitiger Reduktion von Frisch- und Abwasser sowie Chemie und Wärmeenergie.

Die Erfahrung zeigt, dass es nicht jedem Unternehmen möglich ist, solche Investitionen vorzunehmen und dass neue Anlagen trotz des enormen Einsparpotentials oft nicht optimal betrieben werden. Verbrauchszahlen für Energie und Wasser sind im Vergleich bei kleineren Betrieben in der Regel bedeutend höher als bei größeren [1]. Ferner wird in kleinen Brauereien im Vergleich zu Industriebetrieben oft diskontinuierlich gearbeitet. Es werden weit weniger als 10 - 12 Sude pro Tag gebraut und in der Regel wird maximal fünf Tage in der Woche im 2-Schichtbetrieb gearbeitet. Hierdurch und durch die meist größere Sortenvielfalt lassen sich in KMU häufigere Zwischen- und Hauptreinigungen nicht vermeiden.

Mit dem Ziel in Brauereien und Getränkeabfüllbetrieben Energie- und Wassereinsparpotentiale bei bestehenden Anlagen aufzuzeigen und in Zahlen zu belegen, geht man einer sensiblen Thematik nach. Man kann in der Literatur stark voneinander abweichende Werte für Wasserverbräuche, im Bereich von 4 bis 8 hl je hl Verkaufsbier, finden [2]. Der Bereich lässt sich in der Praxis, sowohl nach oben als auch nach unten, erweitern. Höhere Verbräuche sind oft auf die Eigenschaften der meist älteren Anlagen zurückzuführen. Diese sollten aber nicht als einziger Grund für diese Problematik herhalten müssen. Unkenntnis der Reinigungsverfahren und Interessenlosigkeit spielen hier ebenfalls eine bedeutende Rolle. Neue Anlagen sind ebenfalls kein Garant für einen optimal reduzierten Wasserverbrauch. Hierfür wird gerne das Beispiel der als „Green-Field-Brauerei“ konzipierten Grolsch Brauerei herangezogen [3;4]. Trotz modernster Technik wurden in der Abfüllung 1,9 hl Frischwasser/hl Verkaufsbier verbraucht. Nach allen Optimierungsmaßnahmen sank der Frischwasserverbrauch auf 1 hl/hl. Durch Investition von ca. 30 000 € in Messtechnik und Ventile konnten ca. 150.000 € pro Jahr eingespart werden. Die Reinigungsthematik wird oftmals stiefmütterlich behandelt und um sich auf der sicheren Seite zu wähen wird die Frischwasserspülung mit viel zu hohen

Sicherheitsaufschlägen versehen und exzessiv betrieben. Treten keine Probleme auf, wird an dem bestehenden System meist nichts geändert. Eine systematische Überprüfung der Prozesse findet zum Teil, oftmals wegen Personal- oder Zeitmangels, selten statt. Energiemanagementsysteme erleichtern heute die Erfassung der Datenflut und gestalten die Prozesse übersichtlich und sehr gut nachvollziehbar, aber diese haben vor kurzem erst den Weg in die, in der Regel, größeren Betriebe gefunden.

In diesem Forschungsvorhaben soll gezeigt werden, dass sich mit einfachsten Maßnahmen und nur geringen Investitionen, z.B. in Messtechnik oder Sammel tanks, bei bestehenden Anlagen enorme Einsparungen erzielen lassen. Durch Erfassung von Daten in den Brauereien und Getränkeabfüllbetrieben wird in besonderem Maße die praxisnahe und direkte Umsetzung ermöglicht. Es liegen oftmals Kennzahlen für Maschinen vom Anlagenhersteller vor, doch werden diese meist nur bei der Inbetriebnahme erreicht und später kaum noch mit dem Status Quo verglichen. Im laufenden Betrieb werden sie oft aus verschiedensten Gründen geändert oder nicht an die sich ändernden Bedingungen im Tagesgeschäft angepasst. Bei den „Best-Practice-Programmen“ von Chemikalienzulieferern ist es ähnlich.

Ziel ist es, die gesammelten Daten und vorgenommenen Optimierungsmaßnahmen zusammenzutragen und einen Maßnahmenkatalog zu erstellen, der es dem Betrieb erlaubt systematisch Schwachstellen aufzudecken. Es soll keine Sammlung von Verbrauchsdaten zusammengetragen werden, da das Thema „Benchmarking“ sensibel ist und eher demotiviert. Die aktuellen Verbrauchswerte eines Betriebs sollen als Status Quo zum Vergleich mit den optimierten Daten dienen. Optimierungen können nur vollzogen werden, wenn etwas gemessen und erfasst wird. Daher ist es ebenfalls Teil dieses Projektes geeignete und sinnvolle Messmethoden, Messparameter und Messinstrumente zu erproben und auf ihre Aussagekraft hin zu untersuchen. Gleichzeitig soll bei allen Optimierungsmaßnahmen darauf geachtet werden, dass durch diese sowohl der Prozessablauf als auch die Produktqualität nicht negativ beeinflusst werden. Dem Unternehmen soll anhand von Beispielen gezeigt werden, wie durch systematisches Optimieren von Prozessen der Wasserverbrauch reduziert werden kann.

Ein weiteres Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Veröffentlichung der mit Zahlen belegten Verbesserungsmöglichkeiten. Es soll gezeigt werden, dass mit wenigen gezielten Maßnahmen und Investitionen insbesondere auch kleine und

mittelständische Brauereien in der Lage sind, sich dem Branchendurchschnitt bei den Verbräuchen für Energie und Wasser zu nähern. Die erarbeiteten Erkenntnisse und Erfahrungen werden ferner in Fachgremien (z. B. technisch-wissenschaftliche Ausschüsse der VLB Berlin, VLB-Tagungen) präsentiert und diskutiert und sollen in bekannten Fachzeitschriften und weiteren Sprachrohren der Branche publiziert werden, damit Betriebe motiviert werden diese Einsparpotentiale zu nutzen.

Im Rahmen des Projektes wurden zehn kleine und mittelständische Betriebe unterschiedlicher Größe und fünf Großbetriebe auf ihre Einsparpotentiale hin untersucht. Um Abläufe optimieren zu können, müssen zunächst sämtliche Verbräuche, Leistungszahlen, Verfahren und spezifischen Parameter erfasst werden. Während in Großbetrieben die Datenerfassung in der Regel automatisiert und somit leicht auszuwerten ist, werden in KMU alle Reinigungsabläufe halbautomatisch oder manuell durchgeführt. Mobile Durchflussmesser sowie digitale Thermometer und Leitwertmesser dienen der Erfassung der erforderlichen Daten. Im Laufe des Projektes wurden Daten über einen bestimmten Zeitraum aufgenommen und ausgewertet. Anhand der Werte konnten Optimierungen erarbeitet und Einsparungen erzielt werden.

Das Projekt war in fünf Phasen gegliedert:

1. Beispielhafte Aufnahme der betrieblichen Beschaffenheit (Größe, Anlagenanordnung, vorhandene Messgeräte, Abläufe; Programme) sowie Erfassung von Daten (Zeiten, Wasser- und Energieverbrauch der einzelnen Abteilungen und Maschinen) eines geeigneten Betriebes. Festlegung und Standardisierung von Messstellen und Messparametern sowie eines Arbeitsschemas für die Erfassung eines Betriebes.
2. Erfassung der verbleibenden Betriebe anhand der in 1. entwickelten Vorgehensweise.
3. Auswertung der ermittelten Daten und Entwicklung von Optimierungsmaßnahmen in den einzelnen Betrieben in enger Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen vor Ort.
4. Überprüfung der Umsetzung der Maßnahmen und Ermittlung des Optimierungserfolges.
5. Abschließende Zusammenfassung und Veröffentlichung der Ergebnisse.

3. Hauptteil - Durchgeführte Arbeiten im Bewilligungszeitraum

3.1. Herangehensweise und vorbereitende Arbeiten

In der ersten Phase des Projektes wurden Messgeräte wie Wärmebildkamera, portables Durchflussmessgerät mit integriertem Energiemesser sowie ein portables pH-Meter / Konduktometer angeschafft. Hintergrund hierbei war, dass insbesondere kleine und mittelständische Brauereien nicht über entsprechende Inline-Messgeräte verfügen um die Wasser- und Medienflüsse aufzunehmen.

Um eine Systematik zur Herangehensweise bzgl. der Brauereiaufnahme aufzubauen, wurden in einer repräsentativen Großbrauerei die Bereiche Gärung und Reifung sowie Flaschenabfüllung intensiv aufgenommen. Der Vorteil hierin lag, dass die Brauerei bereits über ein sehr umfangreiches Energiemanagementsystem verfügte und daher die Erfassung der Wasser- und Energieströme der portablen Geräte erlernt und verifiziert werden konnte. Ferner konnte man sowohl jeden einzelnen Reinigungsschritt des Kaltbereiches verfolgen und den Verbrauch bis hin zum einzelnen Schritt mengenmäßig erfassen. Im Bereich der Flaschenabfüllung wurden ebenfalls Frischwasserverbräuche dokumentiert und berechnet. Mit der Wärmebildkamera konnten die Temperaturen der gereinigten Flaschen gemessen werden um Rückschlüsse auf die Kaskadenschaltung der Reinigungsmedien zu erhalten.

Daten wurden erfasst, dokumentiert, ausgewertet und diskutiert um mögliche Optimierungs- und Einsparpotentiale zu erkennen und umzusetzen. Reinigungsprogramme wurden umgestaltet, Dauerverbraucher, wie z. B. die Bandschmierung, wurden mit Hilfe einfacher Regelungstechnik getaktet und Vorschläge für sinnvolle Investitionen erarbeitet.

Die in dieser Brauerei gesammelten Erfahrungen und die erarbeitete Systematik zur Erfassung der Wasser- und Energieverbräuche wurden in den folgenden Brauereien angewandt. Im Anschluss an jeden Brauereibesuch wurden die dort gesammelten Ergebnisse teilweise direkt umgesetzt und weitere Optimierungsvorschläge in einem Bericht zusammengefasst.

Die Arbeitsschritte sind nachfolgend zusammengefasst:

1. Relevante Verbrauchsdaten der Brauerei wurden vorweg angefordert und an der VLB ausgewertet.
2. Vor Ort wurde eine Brauereiführung mit dem Hauptverantwortlichen durchgeführt und unklare Punkte der vorbereiteten Verbrauchsdaten diskutiert.
3. Selbstständig wurde die Brauerei, dem Produktionsablauf entsprechend, vom Sudhaus bis zur Abfüllung bearbeitet. Hierbei wurden Reinigungsprogramme und Arbeitsweisen aufgenommen, dokumentiert und bewertet.
4. Scheinbare Widersprüche, zu hohe Verbräuche und redundante Abläufe wurden nach Begutachtung aller Abteilungen vor Ort abschließend in einer Präsentation dargestellt, mit den Mitarbeitern diskutiert und gegebenenfalls direkt beseitigt.
5. Sämtliche Daten und Erkenntnisse des Brauereiaudits, wurden in einem abschließenden Bericht zusammengefasst und dem Betrieb zugeschickt.

3.2. Ergebnisse aus den Betrieben

Insgesamt wurden fünfzehn Betriebe mit Ausstoßzahlen zwischen 20.000 und ca. 2.200.000 hl begutachtet. In allen konnten, aus vorher erwähnten Gründen, beachtliche Optimierungspotentiale bis in den mittleren 5stelligen m³-Bereich realisiert werden. Die meisten konnten ohne oder mit nur geringem Investitionsaufwand und Amortisationszeiten < 1 Jahr umgesetzt werden.

Die gesammelten Erkenntnisse sollen hier sukzessive für jede Unterabteilung in der Brauerei bzw. Abfüllbetrieb dargestellt, diskutiert und geeignete Lösungsansätze präsentiert werden.

Da durch die Fülle der Daten eine sinnvolle und übersichtliche Darstellung der Ergebnisse aller Brauereien nicht möglich ist, werden nachfolgend repräsentative Fallbeispiele für jede Abteilung dargestellt. Sie enthalten alle typischen und wichtigen Einsparpotenziale und Verfahrensfehler, die in den meisten anderen Brauereien in derselben oder einer weniger ausgeprägten Form wieder zu finden waren. Sie werden in jedem Kapitel zusammengefasst und eine Checkliste vorgeschlagen. Im Fazit befindet sich eine tabellarische Auflistung der in den Brauereien erreichten Frischwassereinsparungen, die durch die in den Fallbeispielen beschriebenen Maßnahmen erreicht wurden. Auf Wunsch der Brauereien wurden die Daten anonymisiert dargestellt.

3.2.1. Würzewegreinigung

Der Würzeweg stellt das Bindeglied zwischen dem Sudhaus und dem Gär- und Lagerkeller dar. Er soll bei der CIP-Betrachtung Berücksichtigt werden, da er in der Regel in diese mit eingebunden ist. Da Würze von der Zusammensetzung her (niedermolekulare Zucker, Aminosäuren, pH-Wert, Sauerstoff,...), insbesondere nach dem Kühlen, wesentlich anfälliger gegen mikrobiologische Kontaminationen ist als die Zwischenprodukte anderer Teilbereiche, wird dieser Bereich oft wesentlich intensiver und häufiger gereinigt als vergleichbare andere Leitungssysteme. Die Würzewegreinigung selber unterscheidet sich dabei prinzipiell kaum von denen sonst im Brauereibereich üblichen Verfahren, außer, dass der Würzeweg oftmals vor Benutzung zusätzlich mit heißem Wasser sterilisiert wird. Die prinzipiellen Verfahrensfehler und Einsparpotentiale gleichen denen im Kaltbereich und sollen dort im Detail dargestellt werden. Die verfahrensbedingten Unterschiede aus denen sich auch verschiedene Einsparansätze ergeben sollen nachfolgend kurz behandelt werden.

Fallbeispiele zur Würzewegreinigung

Im ersten Beispiel aus einer Großbrauerei betrug das Leitungsvolumen des Würzewegs 55 hl. Die Medientrennung zwischen Reinigungslösung und Zwischenspülung erfolgte automatisch am Rücklauf zu den CIP-Behältern. Erst dann wurde auf den folgenden Schritt umgestellt. Dies ist in vielen Brauereien üblich und unkompliziert, stellt aber insbesondere in diesem Fallbeispiel enorm viel Potential für Einsparungen dar. In dem Moment, in dem der Leitwert am Rücklauf unterschritten wird, befinden sich keine bedeutenden Mengen an Reinigungsmedium mehr in der Leitung. Im Würzeweg waren aber immerhin noch 55 hl Wasser, die vom nachfolgenden Medium in den Abflusskanal geschoben werden. Diesem Problem wurde damit begegnet, dass die Leitung nach dem Reinigungszyklus mit nur etwa 14 hl, also mit einem „Wasserpropfen“, befüllt wurde. Dies konnte durch einer Änderung von einer leitwertgesteuerten auf eine zeitgesteuerte Umstellung auf den nächsten Reinigungsabschnitt bewirkt werden. Die optimale Menge wurde durch die abgestufte Reduzierung der Wasserventilöffnungszeiten empirisch ermittelt.

Dieses Verfahren ist in vielen modernen CIP-Programmen etabliert und kann durch eine entsprechende Programmierung sicher dargestellt werden. Analog wurde das letzte Nachspülwasser über eine Verkürzung der Schrittzeit reduziert. Hier wurde

zuvor nach Unterschreitung der Leitfähigkeit im CIP-Rücklauf mit weiteren 30 hl Frischwasser gespült. Pro Reinigung ließen sich so mehr als 40 hl Wasser einsparen. Auf ein ganzes Jahr gerechnet ergeben sich so Einsparungen von rund 1.000 m³ Frischwasser.

Wie oben erwähnt ist der Würzebereich mikrobiologisch sensibel und ihm wird daher oftmals sehr viel Aufmerksamkeit gewidmet. Dies ist sinnvoll, es wird allerdings oft über das Ziel hinausgeschossen, wie nachfolgendes Beispiel aus einer mittelständischen Brauerei erläutern soll. Nach jeder Reinigung wurde der Würzeweg nach dem Spülen mit Kaltwasser zusätzlich mit 32 hl Heißwasser sterilisiert, obwohl vor jedem Würzetransfer ebenfalls mit Heißwasser sterilisiert wurde. Bei normaler Reinigung, insbesondere wenn Heißlauge verwendet wurde, reicht das Sterilisieren kurz vor der Leitungsbenutzung völlig aus. Neben den energetischen Einsparungen, ließen sich bei 6 Reinigungen/Woche zusätzlich jährlich 900 m³ Frischwasser einsparen. Bezogen auf die Abwasserkosten der Brauerei von derzeit 2,86 €/m³ ergaben die Einsparungen von 900 m³ Abwasser einen finanziellen Vorteil von rund 2.500,- € pro Jahr.

Anstellwürze wird vom Sudhaus in den Gärkeller gepumpt und zum Schluss mit Wasser nachgedrückt um das Produkt aus der Leitung zu entfernen. Nach diesem Vorgang ist die Leitung praktisch vorgespült. Dennoch fanden sich in fast allen Brauereien mehr oder wenig lange Vorspülschritte. Es muss von Fall zu Fall entschieden werden, ob dies nötig ist. Der Vorspülschritt kann in der Regel stark reduziert werden, im besten Fall entfallen. Es ergaben sich, je nach Größe der Brauerei, Einsparungen zwischen 1,2 und 4,1 m³ Wasser/Reinigung.

Zusammenfassung und Checkliste für die Würzewegreinigung

Die Einsparpotenziale der Würzeweg-CIP sind analog zu denen der allgemeinen Leitungsreinigung unter 3.2.2. Es ergeben sich allerdings dennoch spezifische Unterschiede.

Geprüft werden sollte, ob eine Vorspülung wegen des vorherigen Ausschlebens der Würze mit Wasser wirklich notwendig ist. In den meisten Fällen kann die Vorspülung zumindest stark reduziert werden. Ferner genügt in der Regel eine Sterilisation direkt vor dem Neugebrauch der Leitung. Falls direkt nach der Reinigung mit Heißwasser sterilisiert wird, muss keine letzte Nachspülung mit Kaltwasser erfolgen.

Tab. 1 Checkpunkte Würzewegreinigung

| Checkpunkt | Maßnahme/Lösungsansatz |
|-------------------|---|
| Vorspülen WW-CIP | Ist ggf. nicht notwendig, wenn Würze zuvor mit Wasser ausgeschoben wurde → CSB des Spülwassers prüfen |
| Nachspülen WW-CIP | Ist nicht notwendig, wenn direkt nach der Reinigung mit Heißwasser sterilisiert wird |
| Sterilisieren WW | Nur einmal, vor der Benutzung notwendig, insbesondere, wenn mit Heißlauge gereinigt wurde |

3.2.2. Gär- und Lagerkeller (CIP-Reinigung)

Dieser sogenannte Kaltblock wird heute fast ausschließlich halb- oder vollautomatisch durch die sogenannte CIP-Reinigung (Cleaning In Place) gereinigt. Die Hauptkomponenten einer solchen CIP-Anlage sind Stapelbehälter für die Reinigungsmedien, Frisch- und gegebenenfalls Retourwasser (Stapelwasser). Diese werden mit Pumpen durch die zu reinigenden Anlagenteile, wie Leitungen, Tanks oder Filter gepumpt und in den Vorratstank "zurückgestapelt" also wieder gesammelt. Alle Prozessparameter, wie Zeit, Durchflussmenge, Leitwert und Temperatur sind in den Reinigungsprogrammen hinterlegt und werden beim Reinigen inline erfasst. Durch Variation der Parameter kann das Reinigungsergebnis, aber insbesondere auch der Wasser- und Energieverbrauch beeinflusst werden. Wie zuvor erwähnt sind diese Programme oftmals mit undefinierten Sicherheitsaufschlägen versehen.

Ausgesuchte Fallbeispiele der CIP-Reinigung

Bei der zuerst untersuchten Brauerei handelte es sich um eine moderne Großbrauerei, die wie zuvor erwähnt der Vorbereitung auf dieses Projekt diente. Obwohl recht modern und professionell geführt, konnten hier dennoch viele Potentiale aufgedeckt werden, da sie über die Jahre gewachsen ist und nicht auf der grünen Wiese errichtet wurde. Viele dieser Potenziale waren auch in den Folgebrauereien wiederzufinden. Daher soll bei diesem ersten Betrieb zunächst intensiver auf die Vorgehensweise und Ergebnisse eingegangen werden.

Die automatische CIP-Anlage im Kaltbereich war für die Reinigung der Tanks und Leitungen vorgesehen. Sie hatte Behälter für Heißlauge, Säure und Desinfektion. Darüber hinaus stand ein Stapelwasserbehälter zur Verfügung, in dem Wasser von

der Nachspülung nach Säure und Desinfektion gesammelt und zum Vorspülen wiederverwendet wurden. Die Reinigung von Tanks mit Heißlauge ist eher ungewöhnlich. Aufgrund der großen Rauigkeit der Tankoberflächen und die damit einhergehende, potentielle Gefahr einer mikrobiologischen Kontamination stand eine Kaltlaugenreinigung nicht zur Debatte. Daher ergeben sich auch Verhältnismäßig große Nachspülmengen nach der Laugereinigung, da sie nicht nur zum Ausspülen der Chemikalien dient sondern auch zum Abkühlen der Tanks. Nachfolgende Tabelle zeigt beispielhaft die Nachspülmengen für 2000 hl-Tanks (ZKT 1 und 4) sowie für 800 hl-Tanks (KKT 23 und 27). Es soll an diesem Beispiel verdeutlicht werden, dass viele Reinigungsprogramme nicht zwingend logisch aufgebaut sind und nicht hinterfragt werden.

Tab.2: Spülwasserverbräuche der Tankreinigung in hl

| | Vorspülung (STW) | Spülen nach Lauge (FW) | Spülen nach Säure (FW) | Spülen Desi (FW) | Σ (FW) |
|--------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|--------|
| ZKT 1 | 96,6 | 62,3 | 79,7 | 63,0 | 205 |
| ZKT 4 | 95,9 | 61,2 | 77,3 | 63,5 | 202 |
| ZKT 23 | 125,4 | 66,8 | 98,7 | 55,7 | 221 |
| ZKT 27 | 128,6 | 67,1 | 94,6 | 54,4 | 216 |
| Σ | 111,6 | 64,4 | 87,6 | 59,2 | |

So wird für die kleineren Tanks in der Summe mehr Frischwasser verbraucht als für die etwa 2,5mal größeren Tanks. Die Vor- und die Zwischenspülmengen sind in allen Fällen größer als die der großen Tanks. Technologisch gab es hierfür keine Gründe oder Erklärungen. Da sich Säure bei weitem besser ausspülen lässt als Lauge, ergeben die größeren Nachspülmengen nach Säure ebenfalls wenig Sinn. Ferner mussten die Tanks nicht wie nach dem Laugeschritt abgekühlt werden. Die Schritte der kleinen Tanks wurden vorläufig an die der großen angepasst. Die Laugennachspülung wurde auf Wunsch der Verantwortlichen fast unverändert beibehalten. Die Mengen werden wie zuvor erwähnt auch benötigt um die Tanks wieder abzukühlen. Die letzte und die Säurenachspülung wurden vorerst auf 60 % des Ausgangswertes reduziert. Das hieraus resultierende Stapelwasser reichte zur

Vorspülung aus. Im weiteren Verlauf ergaben sich hier keine prozessbedingten Schwierigkeiten. Hieraus ergab sich eine Wassereinsparung von immerhin 5,5 m³ pro Tank. Bei durchschnittlich 471 Reinigungen pro Jahr ergibt sich eine Ersparnis von 2590 m³ pro Jahr.

Ähnlich verhielt es sich bei der in Tabelle 3 dargestellten Leitungsreinigung. Die Zwischenspülmengen sind recht großzügig dimensioniert. Dies ergibt sich aus der Leitungslänge, die in der Regel für die Zwischenspülung komplett gefüllt wird und erst nach absinken des *Leitwertes* durch das zurückkommende Wasser in der CIP-Anlage auf das neue Reinigungsmedium umgestellt wird. Da die Leitungsreinigung als "geschlossen" bezeichnet werden kann und die Phasen der Reinigungsmedien sich wenig vermischen reicht es bei geeigneter Leitwertkontrolle in der Regel aus, einen sogenannten "*Wasserpfropf*" zwischen die Medien zu setzen. Dieser hätte nur die Aufgabe die beiden Reinigungsmedien voneinander zu trennen. Die Menge muss für jede Anwendung empirisch ermittelt und programmiert werden. Evtl. zurückbleibende, geringste Laugenreste würden durch die nachfolgende Säure neutralisiert.

Tab.3: Spülwasserverbräuche der Leitungsreinigung in hl

| | Vorspülung | Spülen nach Lauge | Spülen nach Säure | Spülen nach Desi | Σ (FW) |
|-----------|------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------|
| Hefe 1+2 | 13,9 | 25,2 | 12,4 | 12,3 | 63,8 |
| Hefe 3+4 | 15,2 | 25,6 | 12,6 | 12,4 | 65,6 |
| Filtrat | 8,5 | 14,2 | 5,6 | 9,3 | 37,6 |
| Unfiltrat | 8,2 | 10,9 | 5,7 | 9,2 | 34,0 |

Die etwa doppelt so großen Vorspülmengen für die Hefeleitung ergeben sich naturgemäß aus der schwierigeren Auswaschbarkeit der Hefe. Die etwa doppelt so hohen Wassermengen für die Laugennachspülung ergeben wiederum wenig Sinn, da die Leitung nach diesem Reinigungsgang genauso sauber sein sollte wie die anderen Leitungen und das Ausspülen der Lauge in etwa den gleichen Bedarf an Wasser darstellt wie für die anderen Leitungen.

Nicht immer gestaltet sich eine Umstellung so einfach wie in den zuvor beschriebenen Fällen, weshalb jeder einzelne Fall individuell bewertet und durch Versuche mit paralleler Analyse begleitet werden muss. So gestaltete sich in einer anderen Brauerei dieses Procedere durchaus schwerer. In einigen der Leitungen waren mehrere Einbauten, wie z. B. Kühler, By-Pässe und Puffer eingebaut, wodurch es zu einer stärkeren Vermischung zwischen Wasser und Reinigungsmedium kam und sich der Leitwert nur stark verzögert senkte. In solchen Fällen müssen individuelle Lösungen gefunden werden. In diesem Fall wurden die By-Pässe gesondert angesteuert, wodurch der Leitwertabfall beschleunigt werden konnte.

Ferner sollte man die Vorspülmengen, wie im Kapitel Würzwegreinigung beschrieben überdenken, wenn beim *Produkttransfer* von einem Betriebsteil zum anderen mit Wasser nachgeschoben wird. Die Leitung ist dann praktisch vorgespült und die Vorspülung könnte somit auf ein Minimum reduziert, bzw. in einigen Fällen sogar weggelassen werden. Auch hier muss von Fall zu Fall entschieden werden.

Durch *Kombinieren des Säure- und Desinfektionsschrittes* bei der Leitungsreinigung würde wie zuvor nochmals Wasser in denselben prozentualen Dimensionen eingespart. Bei knapp 800 Leitungsreinigungen pro Jahr ergeben sich zusätzliche, nicht zu vernachlässigende Einsparungen.

Abbildung 1 verdeutlicht diese Anpassung. Durch Kombination von Säure und Desinfektion würde ein Stapeltank frei werden, der als Stapelwassertank (II) genutzt werden kann. So könnte das Frischwasser für die Spülung nach der sauren Desinfektion gesammelt werden. Dieses leicht saure Wasser würde dann zum Nachspülen nach dem Laugenreinigungsschritt wiederverwendet und ebenfalls wieder gesammelt werden, um bei der Vorspülung eingesetzt zu werden. Mikrobiologische Bedenken sind nicht gegeben, da mit desinfiziertem Wasser zwischengespült wird und der Tank nach der Heißlaugenreinigung praktisch keimfrei ist. Der Frischwasserverbrauch würde um mehr als die Hälfte gesenkt werden ($> 20 \text{ m}^3 \rightarrow 8 \text{ m}^3$). Bei 471 Reinigungen im Jahr entspricht dies mehr als $5000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$. Investitionen ergäben sich nur für kleine Umbaumaßnahmen und Programmierarbeiten.

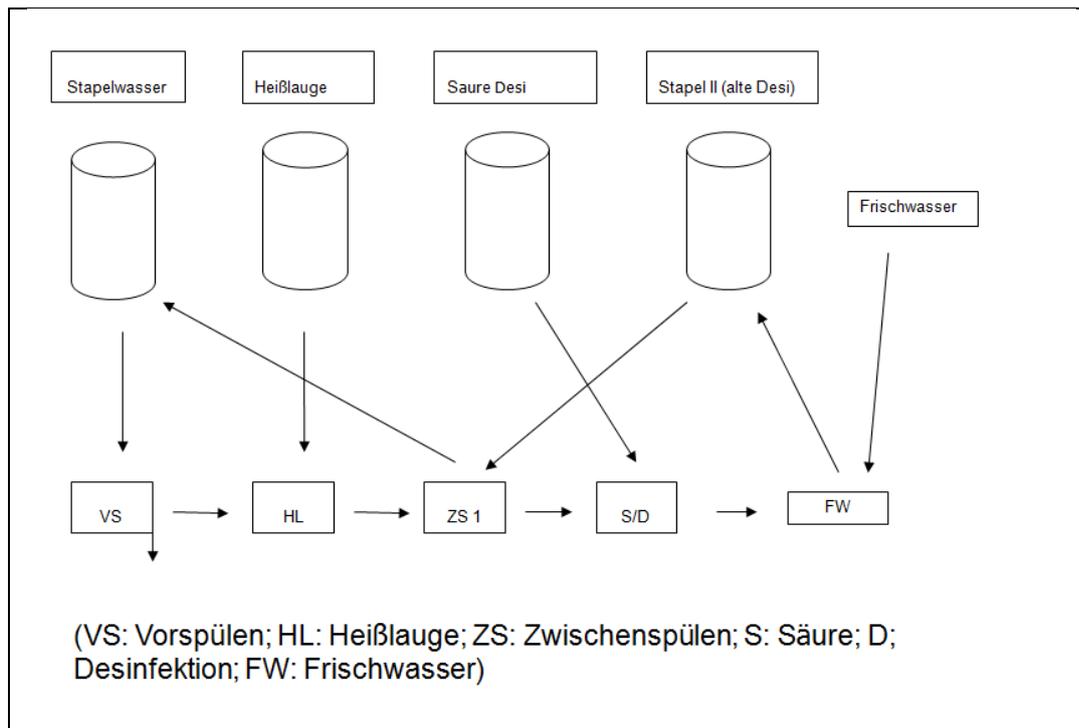


Abb. 1: Stapeltank nach Umstellung auf kombinierte Säure/Desinfektion

Viele Zulieferer bieten heute kombinierte Reinigungs- und Desinfektionsmittel an. Für kombinierte Anwendungen werden in der Regel Desinfektionsmittel, die nicht wie z. B. Peroxide auf Sauerstoffbasis arbeiten, verarbeitet, weil diese recht instabil und daher schwerer stapelbar sind.

Da diese kombinierten Mittel oftmals teurer sind als die konventionellen Einzelanwendungen, hat sich dieses durchaus sinnvolle Verfahren noch nicht flächendeckend durchgesetzt. Im Labormaßstab wurden daher Versuche durchgeführt, um die Beständigkeit von Peressigsäure in Salpetersäure zu untersuchen. Beide Chemikalien werden recht häufig benutzt, sind effektiv und preisgünstig. Bisher galt, dass die Mischung der Chemikalien nicht stabil sei. In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass etwa 30 % der Peressigsäure, in einer Anwendungskonzentration von etwa 200 mg/L in einer üblichen Lösung von 1,5 %iger Salpetersäure zerfallen, aber dies in einem Zeitraum von immerhin 12 Stunden. Bei einer Konzentration von ca. 600 mg/L sind es im gleichen Zeitraum nur etwa 20 %. Dies ist nicht unerheblich, aber in einem solchen Zeitraum laufen in der Regel mehrere Reinigungen, sodass die Konzentration der Peressigsäure einfach nur vor jeder Anwendung aufgeschärft werden muss. Die Konzentration der Peressigsäure ist im Labor oder mit Teststreifen ermittelbar. Die nachzudosierende

Menge kann sukzessive berechnet werden. Die mikrobiologische Wirksamkeit muss in jedem Fall vorher geprüft werden.

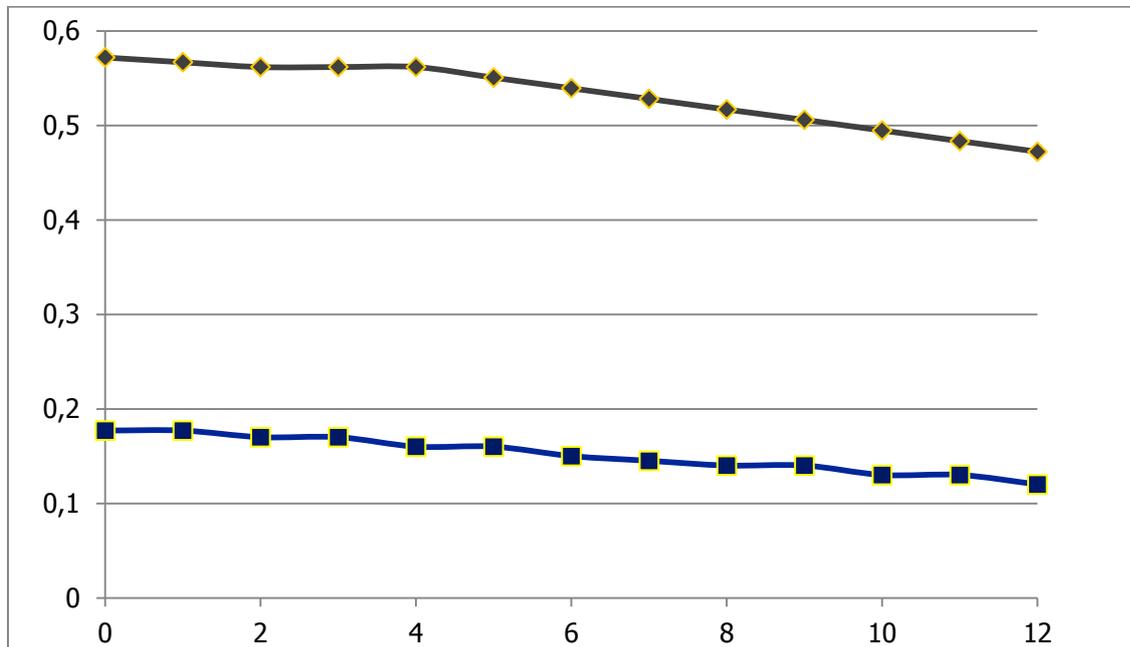


Abb. 2: Zerfall von Peressigsäure in Salpetersäure

In mehreren Brauereien konnte beobachtet werden, dass a) ähnliche oder gleiche Baugruppen sehr unterschiedliche Reinigungsprogramme hatten oder b) sehr unterschiedliche Baugruppen mit demselben Reinigungsprogramm gefahren wurden. Als Beispiel soll eine Kleinbrauerei herangezogen werden. In dieser wurden die größeren und deutlich stärker mit organischen Verschmutzungen belasteten Gärtanks mit deutlich geringeren Mengen gespült als die vorgeschalteten kleineren Puffertanks, die naturgemäß weniger hartnäckig belastet waren. Hieraus ergab sich ein nicht zu vernachlässigendes Einsparpotential. Durch Angleichen der Spülmengen an die Gärtankreinigung ließen sich je Puffertankreinigung 10 hl Frischwasser einsparen, wodurch sich ein jährliches Einsparpotential von 350 m³ (1 m³ x 7 Reinigungen/Woche x 50 Wochen/Jahr) ergab. Für eine Brauerei mit 20.000 hl eine nicht unerhebliche Menge. Bei gegebenen Wasser- und Abwasserkosten entspricht dies einer Ersparnis von 1.048 – 1.466 € pro Jahr.

Die korrekt eingestellte *Leitwerttrennung* stellt einen weiteren Bereich dar, in dem durch logische Vorgehensweise und etwas Fingerspitzengefühl Einsparungen erreicht werden können. Gewisse Verluste sind immer einzukalkulieren, da entweder zu früh oder zu spät auf den Stapeltank bzw. auf den Kanal umgestellt wird. Für die

Bilanz heißt dies, das entweder z. B. zu viel Wasser in den Reinigungsmitteltank zurückgepumpt wird oder der Tank nicht wieder mit der gesamten Ausgangsmenge befüllt werden kann. Im ersten Fall müsste der Tank neu mit Reinigungskonzentrat aufgeschärft werden und im zweiten Fall würde zusätzlich noch Wasser benötigt.

Generell muss empirisch für jede Reinigungsanwendung ein geeigneter Trennleitwert ermittelt werden. Im optimalen Fall ist der Tank nach der Anwendung wieder fast komplett gefüllt und hat nur einen gering abweichenden Konzentrationsverlust des Reinigungsmittels. Je schneller sich der Leitwert verändert, also je schärfer die Phasentrennung umso genauer kann gearbeitet werden. Durch Einbauten und By-Pässe war diese durch die Vermischung von zwei Medien in einigen Fällen bei der Leitungsreinigung stark verschwommen, wodurch weniger genau gearbeitet werden konnte. Dies galt insbesondere für die Tankreinigung. In einem Fall funktionierte die Leermeldesonde nicht, wodurch sich im Tank ein Sumpf bildete, auf den fortwährend Wasser gepumpt wurde. Die Lauge wurde hierdurch stark verdünnt und konnte nur zum Teil und mit geringerer Konzentration in den Tank zurückgepumpt werden. In einem anderen Fall geschah dasselbe durch eine Pumpe die Luft gezogen hatte. Obwohl die Probleme in beiden Fällen bekannt waren, wurde nichts veranlasst und schon seit längerer Zeit manuell, unter Inkaufnahme der Verluste, weitergearbeitet. Diese Beispiele zeigen das neben der Kontrolle der Prozesse und Anpassung von technologischen Arbeitsparametern die Sensibilisierung des Personals von großer Wichtigkeit ist, damit erfolgreiche Umsetzungen auch nachhaltig erhalten bleiben.

In sehr vielen Fällen waren die Trennwerte optimierbar und wurden meist direkt vor Ort angepasst. In einigen Fällen erschwerte wie zuvor erwähnt eine mangelnde Trennschärfe die Optimierung.

Stand der Technik bei Sprüheinrichtungen in Tanks sind sowohl Sprühkugeln, als auch Zielstrahlreiniger. *Sprühkugeln* sind einfache Kugeln, die mit einer Vielzahl von Bohrungen versehen sind, durch die das Wasser oder das Reinigungsmittel auf die Wandungen des Tanks versprüht werden. Sie sind günstig mechanisch kaum anfällig und arbeiten in der Regel ohne Beanstandung.

Durch den Einsatz von *Zielstrahlreinigern* kann in der Regel Wasser in erheblichem Maße eingespart werden, da sie mit Drücken zwischen 2 und 5 bar arbeiten und daher neben der chemischen Wirkungsweise eine stärkere mechanische Komponente als Sprühkugeln in die Reinigung einbringen. Die Anschaffung solcher Zielstrahlreiniger ist allerdings mit nicht unerheblichen Kosten verbunden, die sich

nicht zwingend schnell amortisieren. Sinnvoll ist die Anschaffung von Zielstrahlreinigern in erster Linie bei hartnäckigen Verschmutzungen, wie sie in Gär- und Lagertanks zu finden ist. Bei leicht auszuspülenden Verschmutzungen, reichen in der Regel die günstigeren Sprühkugeln. Die Anschaffung muss in jedem Fall in Abhängigkeit der Wasser- und Abwasserpreise wirtschaftlich abgeschätzt werden. In zwei Brauereien konnte beobachtet werden, dass trotz unterschiedlicher Sprüheinrichtungen gleiche Programme angewandt wurden. Wenn Zielstrahlreiniger angeschafft werden, kann in der Regel der Wasserbedarf reduziert werden, insbesondere im Vergleich zu Sprühkugeln. Der Hersteller ist in diesem Fall mit einzubeziehen bzw. die technische Dokumentation der Einbauten ist zu prüfen.

Zusammenfassung und Checkliste für den Kaltbereich

Vor-, Zwischen- und Endspülungen

Alle Spülungen müssen in den CIP-Programmen geprüft und überarbeitet werden. Wie zuvor erwähnt sind die Spülprogramme fast immer zu großzügig ausgelegt oder folgen keiner festgelegten Logik. Grundsätzlich gilt: enthält das Spülwasser zum Zeitpunkt x keine oder nur geringe Spuren von Rückständen, kann der Spülvorgang abgebrochen werden. Jedes weitere Spülen macht keinen technologischen oder qualitativen Sinn. Nachfolgend sollen Maßnahmen aufgezeigt werden, die checklistenmäßig abgearbeitet werden können um die Wassermengen zu reduzieren. Durch einfachste Rückstandsanalysen der Spülwässer oder visuelle Kontrolle kann die Reinigung überprüft werden. In der Regel werden in Minutenabständen, Wasserproben genommen, gemäß der nachfolgenden Tabelle überprüft und die Spülzeiten entsprechend angepasst. Durch diese einfachen Tests war es wesentlich einfacher die Verantwortlichen im Betrieb von der Unbedenklichkeit der Intervallverkürzung zu überzeugen.

Es konnte festgestellt werden, dass die Belastung der Wässer mit Rückständen schon nach kürzester Zeit stark reduziert wird bzw. nicht mehr nachweisbar ist. Insbesondere die Zwischenspülschritte können großzügig reduziert werden, da evtl. Rückstände vom vorherigen Schritt durch den folgenden problemlos kompensiert werden können. So kann die Lauge geringe organische Belastungen aufnehmen, ohne sich zu stark zu verbrauchen. Geringe Laugereste werden vom nachfolgenden Säureschritt neutralisiert und Säurereste beeinträchtigen die Wirkung der meisten Desinfektionsmittel nicht.

Tab. 4: Maßnahmen zur Reduzierung der Frischwasserspülungen

| Checkpoint | Maßnahme |
|-------------------|--|
| Vorspülung | <ul style="list-style-type: none">• Reduzierung der Vorspülung bis die mittels Küvettentest und Photometer ermittelte CSB-Belastung des Spülwassers weitgehend reduziert ist bzw. sich nicht mehr signifikant verändert• Optische Kontrolle des Vorspülwassers• Optische Kontrolle des Tanks |
| Nach Lauge | <ul style="list-style-type: none">• Küvettentest für nicht-ionische Tenside, wenn die Lauge konfektioniert ist.• Oberflächenspannungsmessung mittels Tensiometer• pH-Messung• Leitwert |
| Nach Säure | <ul style="list-style-type: none">• Küvettentest für die entsprechende Säure<ul style="list-style-type: none">✓ Salpetersäure: NO_3✓ Phosphorsäure: PO_4✓ Schwefelsäure: SO_4• pH-Messung• Ggf. Oberflächenspannung, wenn Tenside enthalten sind |
| Nach Desinfektion | <ul style="list-style-type: none">• Spezifische Teststreifen resp. Analysemethoden des Zulieferers |

Kombination des Säure- und Desinfektionsschrittes

Wie zuvor aufgezeigt kann durch diese Maßnahme ein Zwischenspülschritt komplett eingespart werden. Ferner wird im Idealfall ein Stapelbehälter frei, der im Weiteren für Stapelwasser genutzt werden kann. Hierauf wird im nachfolgenden Punkt eingegangen.

Wiederverwendung von Spülwasser

Spülwasser dient in erster Linie dem Entfernen von Detergenzien, die sich dann auch im Spülwasser wiederfinden. Das jeweilige Wasser kann durchaus, in einem vorgelagerten Reinigungsschritt, wiederverwendet werden. So können bevorzugt die Spülwässer nach der Desinfektion für den Schritt nach der Säure, diese wiederum nach der Lauge und diese zum Vorspülen genutzt werden. Die Rückstände stören

keineswegs. Vielmehr unterstützen, z. B. Laugenreste das Vorspülen und Säurereste die Neutralisation von Laugenresten. Die nicht unerhebliche Investition in einen Stapeltank mit dazugehöriger Peripherie lässt nicht in jedem Fall eine attraktive Amortisationszeit zu. Eine sinnvolle Lösung ist in diesem Fall die im vorherigen Abschnitt erwähnte Kombination von Säure und Desinfektionsschritt. Ferner konnten in einigen, zumeist natürlich über die Zeit gewachsenen Brauereien alte Tanks zum Sammeln von Spülwässern reaktiviert werden, wenn diese nicht zu weit entfernt waren. Folgende Punkte müssten geklärt werden um Spülwässer wiederzuverwenden:

Tab. 5: Checkpunkte für Stapeltanks

| Checkpunkt | Maßnahme |
|-------------------------------------|--|
| Neuer zusätzlicher Stapeltank | <ul style="list-style-type: none"> • Es muss entsprechend Platz vorhanden sein • Return on Investment muss abgeschätzt werden |
| Reaktivierung von vorhandenen Tanks | <ul style="list-style-type: none"> • Prüfen des hygienischen Zustand des Tanks • Tank sollte nah an der CIP-Anlage sein, damit die Installation von langen Leitungen vermieden wird |
| Anpassung der Spülungen | <ul style="list-style-type: none"> • Die Volumina der sich jeweils ergänzenden Spülungen sollten aufeinander abgestimmt sein, damit zusätzlicher Frischwasserverbrauch vermieden wird • Optimal wäre es, wenn der jeweils vorherige Schritt mit der Wassermenge des Nachfolgeschritts gespült wird |
| Medienbereiche | <ul style="list-style-type: none"> • Der Filtrat und der Unfiltratbereich sollten Reinigungstechnisch strikt voneinander getrennt sein |

Trennwerte

Bei der automatischen Trennung von Medien nach dem Leitwert wird bei Erreichen des Zielleitwertes am Rücklauf von Reinigungsmedium auf Kanal oder umgekehrt gestellt. Der Leitwert ist dann, bei geringer Medienvermischung in der Regel bereits nahe null und das gesamte Leitungssystem befindet sich dann allerdings noch unter Wasser. Ein gesonderter Spülschritt ist in den meisten Programmen noch vorgesehen, kann in der Regel aber in Abhängigkeit der Leitungslänge aus dem Programm gestrichen werden. Bei längeren Leitungen kann die Programmierung eines "Wasserpfropfens" in Betracht gezogen werden.

Generell vermischen sich die Medien zu einem gewissen Maß und es wird entweder zu früh oder zu spät auf den Medienbehälter bzw. auf den Kanal umgestellt. Der Trennwert muss empirisch so eingestellt werden, dass der Stapeltank nach der Anwendung wieder maximal gefüllt ist und das Reinigungsmittel nur einen gering abweichenden Konzentrationsverlust erfährt. Die Schärfe der Phasentrennung spielt hierbei eine wichtige Rolle. Bei der Tankreinigung stellt diese wegen der Sumpfbildung im Tank häufig ein Problem dar. Folgende Maßnahmen sollten untersucht werden um das Problem der Sumpfbildung zu begrenzen.

Tab. 6: Reduzierung der Sumpfbildung und Medienvermischung

| Checkpoint | Maßnahme |
|---|---|
| Reinigungsprogramm | <ul style="list-style-type: none"> Definiert gewählte Taktung der Reinigungsintervalle nach Berechnung der Leitungsvolumina |
| Levelsonden zur Vermeidung von Sumpfbildung | <ul style="list-style-type: none"> Das Reinigungsprogramm kann durch den Einbau von Sonden unterstützt werden. Die Intervalle werden weiterschaltet, wenn der Tank leergezogen wurde |
| Rücklaufpumpen | <ul style="list-style-type: none"> Durch selbstansaugende Rücklaufpumpen kann Sumpfbildung vermieden werden. |

3.2.3. Filtration

Im Getränkebereich werden heutzutage in der Regel Kieselgurfilter zur Klärung der Getränke eingesetzt. Diese werden, wenn auch einer CIP-Reinigung unterzogen und in der Regel vor jeder Benutzung mit Heißwasser sterilisiert. Die prinzipiellen Einsparpotentiale ähneln denen der anderen CIP-Reinigungen. Zusätzliches Potential bietet die Sterilisation mit Heißwasser. Es konnte in einigen Betrieben beobachtet werden, dass hier systematische Fehler gemacht wurden bzw. in den Programmen vorlagen.

Ausgesuchte Fallbeispiele

In einer mittelständischen Brauerei wurde der Rahmenfilter mit 85 °igem Wasser manuell beaufschlagt und das Sterilisationswasser in den Kanal, also verloren gefahren. Die Verfahrenspraxis in dieser Brauerei war die ungünstigste von allen untersuchten und soll daher als Fallbeispiel dienen. Nach Erreichen der Zieltemperatur im Auslauf des Filters wurde dieser weiterhin noch etwa 30 Minuten

mit Heißwasser gespeist. Ein plausibler Grund konnte hierfür nicht angegeben werden. Die Wassermenge die hierbei verbraucht wurde war immens. Neben den Wasserverlusten gingen hierbei auch enorme Mengen an Wärmeenergie verloren.

Bessere Praxis und in vielen Brauereien bereits etabliert, ist es nach Erreichen der Zieltemperatur entweder auf Kreislauf zu schalten oder den Filter heiß unter Druck stehen zu lassen. Zusätzliches Wasser lässt sich einzusparen, wenn es im Kreislauf direkt im Filter erhitzt wird. Hierzu müsste allerdings ein Wärmetauscher in den Kreislauf eingebaut werden. In einer Großbrauerei wurde ein redundanter CIP-Behälter isoliert und als Sterilwassertank genutzt. Dieses wurde immer wiederverwendet und die Wasser und Energieverluste wurden so auf ein Minimum reduziert.

Aber auch hierbei können Fehler auftreten. In einer Kleinbrauerei wurde zur Sterilisation das System zunächst mit Wasser gespült. Dabei wurde bereits über einen Bündelrohrwärmetauscher aufgeheizt. Programmvorgabe zur automatischen Schrittweitschaltung waren der Ablauf von mindestens 3 Minuten Spülzeit und das Erreichen von 80°C im Rücklauf. Aufgrund des Systemvolumens (allein der Filter hat ein Volumen von 8,75 hl) konnte in der vorgegebenen Zeit keine Temperaturerhöhung im Rücklauf erreicht werden. Hinzu kam, dass bei der recht hohen Durchflussmenge von 110 hl/h eine maximale Temperatur von nur 38 °C im Rücklauf erreicht wurde. Der Bediener musste also nach eigenem Ermessen in den nächsten Schritt weitschalten. Um hier unnötige Wasser- und Energieverbräuche durch zu spätes Umschalten zu vermeiden, wurde die Temperaturvorgabe im Rücklauf auf 30°C umprogrammiert. Das Programm konnte so die Füllung des Systems mit erwärmtem Frischwasser erkennen und automatisch in den nächsten Schritt schalten. Auffällig war es auch hier wieder, dass mit diesen Fehlern über Monate weitergearbeitet wurde, anstatt eine Korrektur vorzunehmen oder diese anzufordern.

Die Sterilisationstemperaturen variierten in den Betrieben zwischen 76 und 93 °C. Da in allen Fällen die Filter praktisch steril waren, sollte die Temperatur nicht zu hoch gewählt werden. Allgemeingültige Sterilisationstemperaturen und -zeiten sollen an dieser Stelle nicht vorgeschlagen werden. Diese müssen vor Ort in Versuchen, unter mikrobiologischer Analysenbegleitung, ermittelt werden. Klar ist, dass in sehr vielen Fällen die Temperatur niedriger gewählt werden könnte, eine einwandfrei durchgeführte Sterilisation vorausgesetzt. Je nach Methode würde so Wasser und

Energie durch kürzere Aufheizzeiten grundsätzlich eingespart. Ein weiterer wichtiger Punkt wäre, dass wesentlich weniger Wasser zum Herunterkühlen des Filters benötigt würde. Nachfolgendes Diagramm soll den Zusammenhang zwischen Temperaturabnahme und Wasserverbrauch des Filters verdeutlichen. Die Werte wurden beim Abkühlen eines Kieselguhrrahmenfilters in einer mittelständischen Brauerei aufgenommen.

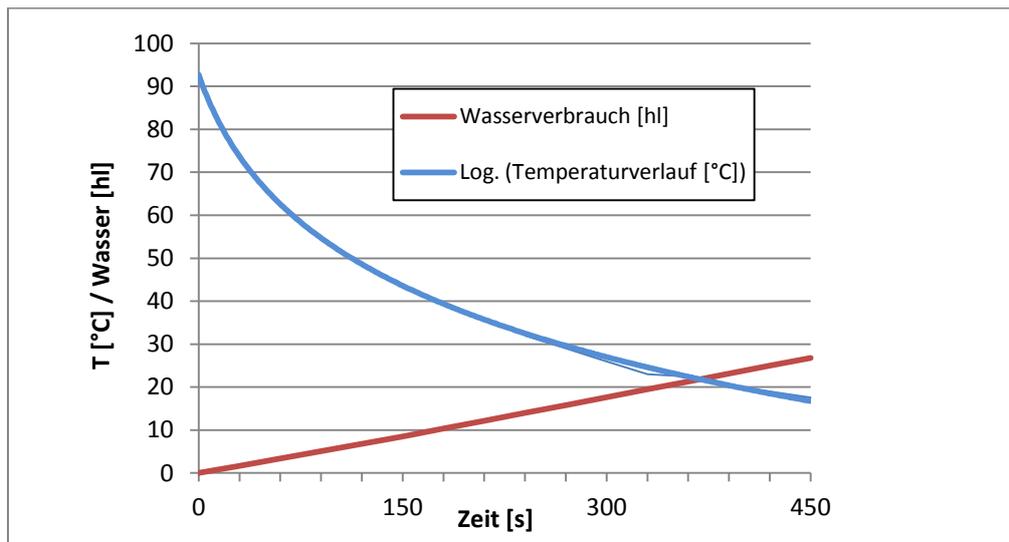


Abb. 3: Temperaturabfall und Wasserverbrauch

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Wasserverbrauch sich nicht linear zum Temperaturabfall verhält. Mit abnehmendem ΔT wird mehr Wasser verbraucht als im oberen Temperaturbereich. Neben der Tatsache, dass mit höherer Sterilisationstemperatur mehr Wasser zum kühlen benötigt wird, sollte darüber nachgedacht werden, wie weit man den Filter herunterkühlt. Senkt man in dem grafischen Beispiel die Zieltemperatur von über 90 °C auf 75 °C und kühlt nur bis etwa 30 °C herunter ergibt sich ein ΔT von 45 K und der Wasserverbrauch würde sich mehr als halbieren. Dieses Beispiel gilt grundsätzlich für alle Sterilisationsvorgänge (z. B. Füller, Leitungen, ...). Das Abkühlwasser muss in diesem Fall selbstverständlich mikrobiologisch einwandfrei sein.

Prinzipiell kann das Sterilisations- und Kühlwasser gestapelt und wiederverwendet werden. In einem Fall wurde z. B. das Sterilisations- und Abkühlwasser zum Auffüllen des Pasteurs genutzt.

In einigen Brauereien wurde nach den meisten Filtrationen die verbliebene Menge an Kieselguhrsuspension in den Kanal gelassen. Eine vorausschauende Bereitung der

Suspension und die evtl. Wiederverwendung hilft sowohl Kieselgur als auch Wasser einzusparen. In einer Kleinbrauerei verblieb in der Regel ein Rest von ca. 2 hl Wasser mit etwa 20 kg Kieselgur im Dosagegefäß. Bei Wasser- und Abwasserpreisen von zusammen 3,60 €/m³ ergaben sich hierdurch jährlich unnötige Kosten von ca. 3.380,- € für Kieselgur und 144,- € für die verlorene Wassermenge.

Zusammenfassung und Maßnahmenkatalog für die Filtration

Für die CIP im Bereich der Filtration ergaben sich dieselben Einsparpotentiale wie für die anderen Reinigungen im Kaltbereich. Bei der Sterilisation der Filter konnten weitere Wasser- und vor allem Energieeinsparpotentiale aufgedeckt werden.

Tab. 7: Checkpunkte in der Filtration

| Checkpunkt | Maßnahme |
|------------------------|--|
| Sterilisation | <ul style="list-style-type: none"> • Bei Erreichen der Zieltemperatur die Warmwasserzufuhr abstellen und den Filter unter Druck stehen lassen, • bzw. auf Kreislaufbetrieb umstellen • Wasser wenn möglich direkt im Filterkreislauf erwärmen • Investition in einen isolierten Heißwassertank zum Stapeln von Sterilisierwasser |
| Stapeltank | <ul style="list-style-type: none"> • Sammeltank zum Auffangen der in der Regel einwandfreien Heiß- und Kühlwässer sowie des Betriebswassers der Zentrifugen zum Weiterverwenden im Betrieb |
| Kieselguhr-dosagegefäß | <ul style="list-style-type: none"> • Restlose Verwendung bzw. Wiederverwenden der KG-Suspension |

3.2.4. Drucktankbereich

Im Drucktankbereich können in der Regel dieselben Maßnahmen ergriffen werden wie im gesamten Kaltbereich. Da die Drucktanks in der Regel nur mit Filtrat befüllt werden sind die Verunreinigungen in der Regel nicht so hartnäckig wie z. B. im Gärkeller. In den meisten Brauereien waren die Vorspülzeiten mit denen im Gärkeller identisch und konnten um mehr als die Hälfte reduziert werden. Alle anderen Spülzeiten waren in der Regel ebenfalls zu lang gewählt und konnten in analoger

Vorgehensweise wie für den Gär- und Lagerkeller unter 3.2.2. beschrieben stark reduziert werden.

3.2.5. Abfüllung

Hauptwasserverbraucher im Bereich der Abfüllung sind unter anderem:

- Flaschenwaschmaschine bei Mehrwegflaschen
- Kastenwascher
- Rinser für Neuglas und PET
- Vollflaschenschwallung
- Vakuumpumpe des Füllers
- Bandschmierung

Ausgesuchte Fallbeispiele

In einer großen Brauerei wurden für den Betrieb der *Vakuumpumpen* 50 bzw. 60 m³ Wasser am Tag verbraucht. Vakuumpumpen benötigen dieses Wasser funktionsbedingt als Absperr- bzw. Kühlwasser. Auf die Wiederverwendung wird aus mikrobiologischen Gründen in der Regel verzichtet, da Bieraerosole durch die Vakuumpumpe angesaugt werden sollen. Dennoch kann die Wiederverwendung für sekundäre Reinigungszwecke oder für Zwecke ohne Produktkontakt (Boden, Kastenwascher, Fahrzeuge, Flaschendusche, Pflanzen,...) in Betracht gezogen werden.

Wenn auf eine Wiederverwendung verzichtet wird, können folgende Maßnahmen herangezogen werden, um den Wasserverbrauch zu senken:

1. Manuelle Betriebswassertemperaturregelung: Der Zufluss wird durch genaue Eindrosselung reduziert, bis sich die maximal mögliche Rücklaufwassertemperatur einstellt. In Abhängigkeit von der Frischwassertemperatur konnten so in den Betrieben zwischen 15 und 45 % Wasser eingespart werden
2. Thermostatische Betriebswassertemperaturregelung: Wie 1. aber automatisch über Thermostat geregelt. Einsparungen von bis zu 70 % sind möglich. Investitionen bewegen sich im oberen vierstelligen Bereich.

3. Kreislaufregelung: Das Sperrwasser wird nach Zwischenkühlung mittels Wärmetauscher der Pumpe im Kreislauf wieder zugeführt. Die Kühlung kann direkt mit Kältemittel erfolgen oder wenn der Prozess es erlaubt z. B. mit zum Füller fließendem Produkt erfolgen. Es empfiehlt sich das Wasser jeden Tag zu wechseln und den Kreislauf zusätzlich zu reinigen. Investitionen im mittleren fünfstelligen Bereich sind notwendig.

Die erste Alternative beinhaltet keine Investitionskosten und wurde in den meisten Brauereien direkt umgesetzt. Der Wasserverbrauch wurde auf die vom Hersteller empfohlene, höchstmögliche Betriebswassertemperatur einreguliert. Diese ist der technischen Dokumentation der Pumpen, wie sie in folgender Abbildung beispielhaft dargestellt ist, entnehmbar.

Make-up Liquid Consumption in [m³/h] dependent upon suction pressure, speed, drive type and temperature difference.

| Suction pressure in [mbar] | | 33 | | | 120 | | | 200 | | | 400 | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-----------------------------|------|------|-----|-----------------------------|------|------|-----|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Pump Type | Speed [rpm] | KB | | | FB | KB | | | FB | KB | | | FB | | | | | | |
| | | Temperature Difference [°C] | | | | Temperature Difference [°C] | | | | Temperature Difference [°C] | | | | | | | | | |
| | | 10 | 5 | 2 | | 10 | 5 | 2 | | 10 | 5 | 2 | | | | | | | |
| LPH 45008 | 1450 | 0.17 | 0.28 | 0.48 | 0.9 | 0.17 | 0.28 | 0.46 | 0.8 | 0.18 | 0.29 | 0.46 | 0.75 | 0.18 | 0.28 | 0.43 | | | |
| | 1750 | 0.23 | 0.36 | 0.56 | | 0.22 | 0.35 | 0.53 | | 0.22 | 0.34 | 0.51 | | 0.22 | 0.33 | 0.46 | | | |
| LPH 45311 | 1450 | 0.19 | 0.31 | 0.51 | | 0.20 | 0.32 | 0.50 | | 0.21 | 0.33 | 0.50 | | 0.21 | 0.31 | 0.45 | | | |
| | 1750 | 0.24 | 0.38 | 0.59 | | 0.25 | 0.38 | 0.55 | | 0.26 | 0.38 | 0.54 | | 0.25 | 0.36 | 0.49 | | | |
| LPH 45316 | 1450 | 0.24 | 0.38 | 0.61 | | 1.0 | 0.25 | 0.40 | | 0.60 | 0.9 | 0.27 | | 0.40 | 0.59 | 0.85 | 0.25 | 0.36 | 0.49 |
| | 1750 | 0.30 | 0.47 | 0.69 | | | 0.31 | 0.47 | | 0.65 | | 0.32 | | 0.47 | 0.64 | | 0.30 | 0.41 | 0.53 |

FB = Total service liquid flow rate on once-through system

KB = Flow of make-up water when combined with partial recirculation liquid at a temperature of 10°C, 5°C, 2°C, warmer than make-up water.

Abb. 4: Datenblatt des Pumpenherstellers

In einer mittelständischen Brauerei, die ihre Vakuumpumpe manuell betrieb, liefen je Betriebsstunde 1,5 m³ Frischwasser bei einer Temperatur von etwa 20 °C durch die Pumpe. Für einen einwandfreien Betrieb der Vakuumpumpe waren laut Hersteller allerdings Temperaturen von bis zu 30 °C zulässig. In einem Vor-Ort-Versuch konnte der Frischwasserbedarf durch anheben der Wassertemperatur auf 27 °C um 0,6 auf 0,9 m³/h gesenkt werden. Dies entspricht einer Verringerung des Wasserbedarfs der Vakuumpumpe um 40 %. Im 24-Stundenbetrieb und fünf Arbeitstagen pro Woche können in diesem Beispiel 72 m³ pro Woche resp. bis zu 3600 m³ pro Jahr eingespart werden. Nach obigen Datenblatt wäre eine noch weitere Absenkung möglich gewesen, aber aufgrund der baulichen Ausführung des selbstkonstruierten Flüssigkeitsabscheiders war dies zu diesem Zeitpunkt nicht möglich.

In zwei Abfüllanlagen einer Brauerei wurden ca. 27 m³ bzw. 50 m³ am Tag für die *Bandschmierung* verbraucht. Für eine Brauerei dieser Größe war es ungewöhnlich, dass die Bandschmierung ohne Taktung und ohne jede Regelung auch bei Stillstand lief. Einfache Regelungen zum Abschalten bei Anlagenstillstand und zur Taktung während des laufenden Betriebs sind nicht übermäßig teuer und reduzieren die Frisch- und Abwasserkosten erheblich. Bewährt haben sich An/Aus-Taktungen der Bandschmierung mit einem Verhältnis von 70:30 bis 50:50. So konnte der Wasserverbrauch entsprechend um 30 - 50 % reduziert werden. Diese Maßnahme muss unbedingt in Absprache mit dem Zulieferer des Bandschmiermittels erfolgen, um eine Beschädigung der Bänder (Längung o. Ä.) zu vermeiden.

Der *Kastenwascher* wurde in vielen Brauereien mit Frischwasser gespeist, obwohl die Reinigungsansprüche beim Waschen der Kästen in der Regel nicht so anspruchsvoll sind wie in den anderen Bereichen der Brauerei, in denen Produktkontakt vorliegt.

In einem Beispiel aus einer Kleinbrauerei betrug die Menge bei einer recht überschaubaren Füllerleistung von nur 12.500 Flaschen/h immerhin 1 m³/h. Es gab zwar einen Zulauf aus dem Warmwasserbecken der Flaschenreinigungsmaschine, allerdings war dieser aufgrund einer fehlenden Pumpe, mangelndem Gefälle zum Kastenwascher und ungünstig gelegenen Tiefpunkten bereits seit einem langen Zeitraum zugesetzt. Ferner fehlte es dem Kastenwascher an chemischen Reinigungseffekt, weshalb zu dem Frischwasserverbrauch von 1 m³/h noch Dampf zum Aufheizen des Wassers auf 40 °C benötigt wurde. Das entspricht einem theoretischen Energiebedarf von 136 MJ oder rund 38 kW je Betriebsstunde, ohne Berücksichtigung der Wärmeverluste und Wirkungsgrad des Dampfkessels. Bei 7 Stunden/Tag, 4 Tagen/Woche und 50 Wochen/Jahr, ergibt sich ein Energiebedarf von 53,2 MWh pro Jahr. Was in etwa 5.900 m³ Gas entspricht. Diese Dimensionen werden erst klar, wenn man entsprechende Nachforschungen anstellt und die Plausibilität eines Umbaus der Fehlkonstruktion des Warmwasserzulaufs aus der Flaschenreinigungsmaschine wird einem recht schnell klar.

Die *Flaschenschwallung* wird für das Abspülen von Bierresten direkt nach der Abfüllung eingesetzt. Grundsätzlich war den Verantwortlichen vor Ort nicht klar, dass auf die Stunde gerechnet zwischen 1 und 3 m³ Wasser hierfür verbraucht werden und sich enorme Mengen über einen längeren Zeitraum ergeben. Es lohnt sich, sowohl über das Speisewasser als auch über das benutzte Wasser Gedanken zu

machen. In einer Großbrauerei lag der Verbrauch bei 1,3 m³ pro Stunde und damit auf der Höhe der Vakuumpumpe. In diesem Fall wurde das Pumpenwasser zum speisen der Flaschenschwallung herangezogen. Der umgekehrte Fall wäre ggf. mikrobiologisch bedenklich, da das Wasser der Schwallung Bierreste enthält

Für die drei zuvor erwähnten Teilbereiche besteht kein direkter Produktkontakt mit dem Reinigungswasser, wodurch sich bei der Auswahl flexible Einsatzmöglichkeiten ergeben. Folgende Wässer können unter Berücksichtigung der organischen Belastung und der Mikrobiologie zur Reinigung für zuvor erwähnte Zwecke herangezogen werden:

- Wasser aus der Warmwasserzone der Flaschenwaschmaschine
- Betriebswasser der Vakuumpumpe oder Zentrifuge
- Wasser von Sterilisationen von Filtern, Leitungen u. Ä.
- Spülwässer aus der CIP-Reinigung
- Kombinationen der zuvor genannten Wässer

Die Entscheidung diesbezüglich muss jede Brauerei in Abhängigkeit der Wasserqualität, Maschinenteknik und räumlichen Distanzen und damit Investitionskosten intern treffen.

Neben der Vakuumpumpe stellt die *Flaschenreinigungsmaschine* einen der großen Wasserverbraucher dar. Das zulaufende Frischwasser wird hier zum einen zum Abwaschen der Reinigungslauge und zum anderen zum Abkühlen der heißen Flaschen benötigt. Wasserverbräuche von unter 200 ml/Flasche sind zum Erreichen beider Ziele heutzutage mit moderner Technik ohne Qualitätseinbußen durchaus möglich.

Beispiele aus zwei Kleinbrauereien sollen die Möglichkeiten jenseits von teuren Investitionen aufzuzeigen, die durch aufmerksame Detailarbeit und sinnvolle Feinabstimmung erreicht werden kann.

In der ersten Beispielbrauerei war der Frischwasserzulauf ohne plausiblen Grund recht hoch eingestellt, so dass durch das recht kalte Frischwasser mit 7 °C die Flaschentemperatur an der Ausgabe der Maschine mit 12 °C recht niedrig war. Analog zur zuvor erwähnten Feinabstimmung einer Vakuumpumpe kann der Frischwasserzulauf ebenfalls so eingedrosselt werden, dass die Flaschen nicht zu stark abgekühlt werden. Temperaturen von bis zu 30 °C können heutzutage in vielen Brauereien beobachtet werden. Dies liegt im Ermessen der Brauerei und muss

individuell entschieden werden. Der Reinigungserfolg muss dabei im Fokus bleiben und nach dem sogenannten "VLB-Dreisprung" ermittelt werden [5]. Folgende Parameter des Flaschenspülwässers sind hierbei von Bedeutung und sollten nicht über bzw. unterschritten werden:

- ✓ Oberflächenspannung > 55 mN/m
- ✓ Nichtionische Tenside < 0,5 mg/L
- ✓ CSB-Wert von < 15 mg/l

Im Fallbeispiel konnte die Frischwasserzufuhr, unter Einhaltung dieser geforderten Werte, ohne Probleme um mehr als 30 % eingedrosselt werden.

Bei Stillstand müssen die Flaschen in der Flaschenreinigungsmaschine mit einer gewissen Menge Wasser benetzt werden, um ein Antrocknen zu verhindern. In einer Brauerei erreichte die Flaschenreinigungsmaschine durch häufige Störungen nur etwa 30 % ihrer eigentlichen Sollleistung, wodurch sich stark erhöhte Wasserverbräuche von 400 – 600 ml/Flasche ergaben. Dies war der Tatsache geschuldet, dass die Maschine nicht über eine Drosselung der Frischwasserzufuhr bei Stillstand verfügte. Eine Nachrüstung mit einer Drosselung der Frischwasserzufuhr, die die Benetzung der Flaschen garantiert ist mit einer geringen Investition im mittleren vierstelligen Bereich möglich. Eine weitere Brauerei verfügte über eine entsprechende Taktung, die allerdings mit 18 Sekunden Pause und 16 Sekunden Spritzung recht ungünstig geschaltet war (2,25 m³/h gemessen). Die Impulszeiten der Frischwasserspritzung wurden von 16 Sekunden auf 4 Sekunden bei gleicher Pausenzeit von 18 Sekunden reduziert. Dies reichte um ein Antrocknen der Flaschen zu verhindern. Der Wasserverbrauch konnte auf ca. 0,6 m³/h gesenkt werden. Das entspricht einem Einsparpotential von rund 70 % während Maschinenstillstands.

Ferner lief die Frischwasserspritzung während des Betriebes im Dauermodus, obwohl die Maschine mit einer Abschaltung der Frischwasserspritzung bei Neupositionierung des Spritzwagens verfügte. Hierbei würde die Dauer der Flaschenspülung 4 Sekunden und die Neupositionierung des Spritzwagens ohne Spritzung 2 Sekunden dauern. Durch einfache Einstellung im Menu der Steuerung konnte dieses Programm gewählt werden und die Dauerspritzung abgestellt werden. Hierdurch konnte eine Frischwassereinsparung von 33 % während des Betriebes der Maschine erreicht werden. Beide Maßnahmen zusammen ergaben in diesem

Beispiel bei dem beobachteten Verhältnis von Stillstand (62,4 %) und Betrieb (37,6 %) der Maschine, eine Reduzierung um insgesamt ca. 56 %. Analog hierzu wurden durch die geringere Verdünnung bzw. Abkühlung durch das zulaufende Wasser entsprechend Chemikalien- und Wärmeenergieverbräuche gesenkt.

In einer weiteren Brauerei wurde das Wasser der Kaltwasserspritzung mit Chlordioxid desinfiziert. Zur Inlinemessung der Konzentration wurden dem Becken fortlaufend Wasser entzogen. Dieses Wasser wurde nach Durchlauf durch die Messeinheit in den Kanal geleitet und stand der Flaschenwaschmaschine zum Reinigen und Abkühlen der Flaschen folglich nicht mehr zur Verfügung. Die Menge von 0,2 m³ pro Stunde erscheint zunächst vernachlässigbar, kumulierte sich aber durch den 24 Stundenbetrieb auf etwa 1200 m³ im Jahr auf. Das einwandfreie Wasser wurde nachfolgend wieder in die Waschmaschine geleitet, wodurch sich jährliche Einsparungen von über 3000 € ergeben.

In jeder Brauerei gab es Produktbedingt *Spezialfälle*, die nur bedingt auf andere Betriebe umzusetzen sind. So wurde in einer Spezialitätenbrauerei der Kopf der Flasche mit einer Staniolhaube versehen. Damit sich kein Kondenswasser und nachfolgend Schimmel bildet wurde das Bier vor der Abfüllung angewärmt. Hierfür wurde Heißwasser hergenommen, das aus der Energierückgewinnung des Sudhauses generiert wurde. Insgesamt wurden 11 % des Gesamtwarmwassers für diesen Zweck verbraucht, das anderen Wärmeverbrauchern nicht mehr zur Verfügung steht und durch den Einsatz zusätzlicher Energie zur Verfügung gestellt werden musste. Um in diesem Fall zwei Zwecke synergistisch zu lösen wurde vorgeschlagen, das Bier über einen Wärmetauscher mit dem Warmwasserbad der FlaMa aufzuheizen. Primärenergie würde eingespart und weniger Wasser würde für das Abkühlen der gereinigten Flaschen benötigt.

Ein Hersteller füllte Handelsmarkenbier auf PET-Flaschen. Nach dem Aufblasen wurden diese mit Frischwasser im *Rinser* gespült. Zwei Anlagen liefen dazu parallel. Der einfache Vergleich der jeweiligen Wasserverbräuche zeigte, dass trotz baugleicher Modelle und gleicher Flaschengröße ein Rinser 92 und der andere 50 ml Frischwasser pro Flasche, also fast doppelt so viel Wasser verbrauchte. Da qualitativ keine Unterschiede erkennbar waren, wurde der Verbrauch bei beiden Rinsern auf 50 ml/Flasche heruntergedrosselt. Ferner wurde das Rinserwasser, das einwandfrei war, gesammelt und dem Pasteur zugeführt.

Zusammenfassung und Maßnahmenkatalog für die Abfüllung

Die zahlreichen Fallbeispiele verdeutlichen die enormen Einsparpotentiale im Bereich der Abfüllung.

Tab. 8: Checkpunkte der Abfüllung

| Checkpunkt | Maßnahme |
|---------------------------|--|
| Wasserzufuhr in der FlaMa | <ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung mit Kontrolle der Flaschen nach dem "VLB-Dreisprung" • Reduzierung unter Beachtung der Flaschentemperatur • Installation einer automatischen Drosselung oder Taktung bei Anlagenstillstand |
| Bandschmierung | <ul style="list-style-type: none"> • Installation einer Taktung • Empirische Reduzierung des Durchflusses |
| Vakuumpumpe | <ul style="list-style-type: none"> • Manuelle Drosselung und Kontrolle der Wasserzufuhr unter Beachtung der technischen Herstellerdokumentation • Installation einer thermostatischen Betriebswasserkühlung • Kreislaufführung des Pumpenbetriebswassers • Wasserwiederverwendung für sekundäre Zwecke |
| Rinserwasser | <ul style="list-style-type: none"> • Sammeln des Rinserwassers zum Speisen des: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pasteurs ✓ Flaschenreinigungsmaschine ✓ Flaschendusche |
| Kastenwascher | <ul style="list-style-type: none"> • Speisen der Vorreinigung mit Warmwasser aus der Flaschenwaschmaschine oder „Recyclingwasser“ |
| Flaschen-schwammung | <ul style="list-style-type: none"> • Empirische Reduzierung auf ein Minimum • Gezielter Kontakt des Wassers mit den Flaschen |
| Recyclingwasser | <ul style="list-style-type: none"> • Sammeln sämtlicher einwandfreier Wässer von: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vakuumpumpe ○ Rinser ○ Abkühlwasser ○ Sterilisationswasser <p>Zur Wiederverwendung als Recyclingwasser für Einsätze ohne Produktkontakt.</p> |

3.2.6. Weitere Bereiche und grundsätzliche Erkenntnisse

In einer Kleinbrauerei kam es durch die falsche Einstellung des Permeat/Konzentratverhältnisses von 60:40 in der *Umkehrosmoseanlage* zu einem erheblichen Mehrbedarf an Rohwasser. Moderne Umkehrosmoseanlagen kommen auf Permeatausbeuten von 75 – 90 %. Aus einem m³ Rohwasser wurden somit 0,4 m³ in den Kanal geleitet und standen daher dem Betrieb nicht mehr zur Verfügung. Ferner mussten bei einem Abwasserpreis von 3,70 €/m³ für diese 0,4 m³ Konzentrat immerhin 1,48 € bezahlt werden, obwohl dieses Wasser nur mit Wassersalzen belastet ist.

Ferner wurde das aufbereitete Wasser für alle Einsatzzwecke in der Brauerei verwendet, obwohl diese hohe Wasserqualität nicht in allen Bereichen erforderlich war. Es bietet sich daher grundsätzlich an, Wässer mit hohem Aufbereitungsbedarf in zwei oder mehrere Klassen einzuteilen, z. B. in Brau- und Betriebswasser sowie Wasser für sekundäre Zwecke. Diese können dann ihren Eigenschaften bzw. den Ansprüchen des Prozesses nach genutzt werden. Erstere werden zum Brauen und für Anwendungen mit Produktkontakt herangezogen und die weiteren zum Kühlen, Reinigen, Bewässern usw. Eine professionelle Evaluierung ist hierzu erforderlich. Der Frischwasserbedarf und die in das Abwassernetz eingeleiteten Wassermengen würden so erheblich reduziert.

Bei einem Limonadenabfüller konnte durch gezielten Vergleich der Praxisdaten des *Ionenaustauschers* (2 schwachsaure Kationenaustauschermodule; 60 m³/h) mit den Vorgaben des Herstellers ein entscheidender Mangel aufgedeckt werden, wie der folgenden Tabelle zu entnehmen ist.

Tab. 9: Betriebsdaten des Austauschermoduls

| Betriebsdaten | Soll | Ist |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Durchsatz zwischen 2 Regenerationen** | 900 m ³ | 500 m ³ |
| Regenerationsdauer gesamt | 55 min | 77 min |
| Rückspülzeit 10 min | 10 m ³ /h | 45 m ³ /h* |
| Regeneration 15 min | 20 m ³ /h | 15 m ³ /h |
| Ansaugleistung (30 % HCl) | 1,2 m ³ /h | 1,1 m ³ /h |
| Säurekonzentration Regenerationslösung | 1,7 % | 2,05 % |
| Auswaschung | 30 min | 52 min** |
| Auswaschleistung | 20 m ³ /h | 15 m ³ /h |

Durch ein defektes Ventil kam es zu einer überhöhten Rückspülgeschwindigkeit und dadurch zu einem stark erhöhten Wasserbedarf. Zusätzlich wurden hierdurch erhebliche Mengen an Austauschharze (Kosten: 15.000 €!) ausgespült, wodurch die Kapazität der Module deutlich verringert wurde. Die Anlage konnte nur noch mit einer Kapazität von 55 % der ursprünglich vom Hersteller vorgegebenen Leistung betrieben werden und darüber hinaus stieg der Leitwert wegen der verfrühten Erschöpfung der Harze von rund 60 μS auf über 280 μS an, wodurch die nachgeschaltete Umkehrosmoseanlage zum Teil mit Permeat-/Konzentratverhältnissen von nur 55:45 arbeitete und nicht wie sonst möglich mit 80:20. Nach Austausch eines defekten Membranventils konnte der Durchfluss wieder auf die vorgegebenen m^3/h eingeregelt werden.

Neben der Abarbeitung der vorgeschlagenen Checkpunkte und Maßnahmen ist es darüber hinaus grundsätzlich, wichtig alle *Wasser- und Energieströme* genau und individuell zu betrachten und zu verstehen, wie z. B. im Beispiel des Ionenaustauschers im vorherigen Kapitel gezeigt werden konnte. Hier wurden lediglich die Herstellervorgaben mit den tatsächlichen Werten verglichen und eine empfindliche Schwachstelle ermittelt. Bei genauer Kenntnis der Brauerei- und Abfülltechnologie lassen sich weitere individuelle Schwachstellen ermitteln und Lösungen finden.

Interessant war auch zu sehen, dass, obwohl einige Brauer in fast allen Bereichen ihrer Brauerei alles richtig machen und die Wasserverbräuche kaum mehr zu optimieren sind, an anderer Stelle massive Fehler gemacht werden.

So wurde z. B. in einer mittelständischen Brauerei, die über moderne Technik verfügte und die viele Abläufe bereits optimiert hatte, im Bereich der Fassabfüllung erstaunlich viel Einsparpotential ermittelt. Die Reinigung und Sterilisation der Fassabfüllung wurde mit zwei Programmen gefahren. Eine CIP-Reinigung inkl. Heißlauge und Heißwassersterilisation, täglich nach der Abfüllung, und ein Sterilisationsprogramm, täglich vor Abfüllbeginn. Die CIP-Reinigung wurde 5mal pro Woche nach folgendem Programm durchgeführt:

Vorspülung (6,5 hl) → Leitwerttrennung → Heißlaugekreislauf (80 °C) → Ausschub Lauge mit Heißwasser über Leitwert → Leitwerttrennung → Säurekreislauf → Ausschub Säure mit Heißwasser über Leitwert → Heißwasserkreislauf (80 °C) → Frischwassernachspülung (9 hl)

Bei diesem Reinigungsprogramm wurde das Vorspülen auf 2,2 hl verkürzt und nach dem Säureschritt mit Kaltwasser bis zur Unterschreitung des Leitwertes ausgedehnt. Danach war das CIP-Programm beendet. Nach der Reinigung mit 80 °iger Heißlauge und -säure sowie dem zwischenzeitlichen ausschleiben mit Heißwasser ist ein weiteres sterilisieren mit Heißwasser nicht notwendig. Die gesamte Anlage ist hiernach bereits ausreichend thermisch behandelt.

Pro Reinigung ließen sich mit den vorgeschlagenen Änderungen deutliche Mengen an Energie und ca. 13,3 hl Frischwasser einsparen. Bei 5 Reinigungen pro Woche ergeben sich neben den Energieeinsparungen für das Heißwasser immerhin Frischwassereinsparungen von 333 m³ pro Jahr.

Beim Sterilisationsprogramm konnten pro Reinigung sogar 15,5 hl Frischwasser eingespart werden. Bei fünf durchgeführten Vorgängen pro Woche waren dies 388 m³ pro Jahr. Dies wurde durch das Löschen des ersten und des letzten Schrittes im folgenden Programm erreicht:

Vorspülung (6,5 hl) → Heißwasser → Kaltwasser bis Temperaturtrennung → Nachspülung (9 hl)

Das Vorspülen ist wegen der zuvor erfolgten CIP nicht notwendig und ein Nachspülen ist durch die Abkühlung bereits erfolgt und sowieso nicht notwendig, da das System nur mit Wasser in Berührung gekommen war.

Viele Schwachstellen wurden durch einfaches Betrachten des generellen Wasserhaushaltes identifiziert. Überall wo Wasser in die Kanalisation läuft sollte man sich Gedanken machen, ob dies vermeidbar ist oder ob es von einer Qualität ist, die man irgendwo im Betrieb wiederverwenden kann. Oftmals sind Fehlschaltungen und Fehlkonstruktionen dafür verantwortlich, dass Wasser nicht seinem eigentlichen Zweck zugeführt wird. Identifikation und Lösungsfindung sind in der Regel denkbar einfach.

In einer Brauerei konnte beobachtet werden, dass bei der Vorspülung der Tankreinigung Frischwasser in den Stapelwassertank nachgefüllt werden musste, da die Leermeldesonde ansprang und zum anderen das letzte Spülwasser nur zum Teil rückgestapelt werden konnte. Ein erheblicher Teil des letzten Spülwassers ging in den Kanal. Dies war ungewöhnlich, da die Wasserbilanz vom Programm her ausgeglichen sein müsste. Abbildung 5 zeigt den Stapelwassertank und die Positionierung der entsprechenden Füllstandssonden.

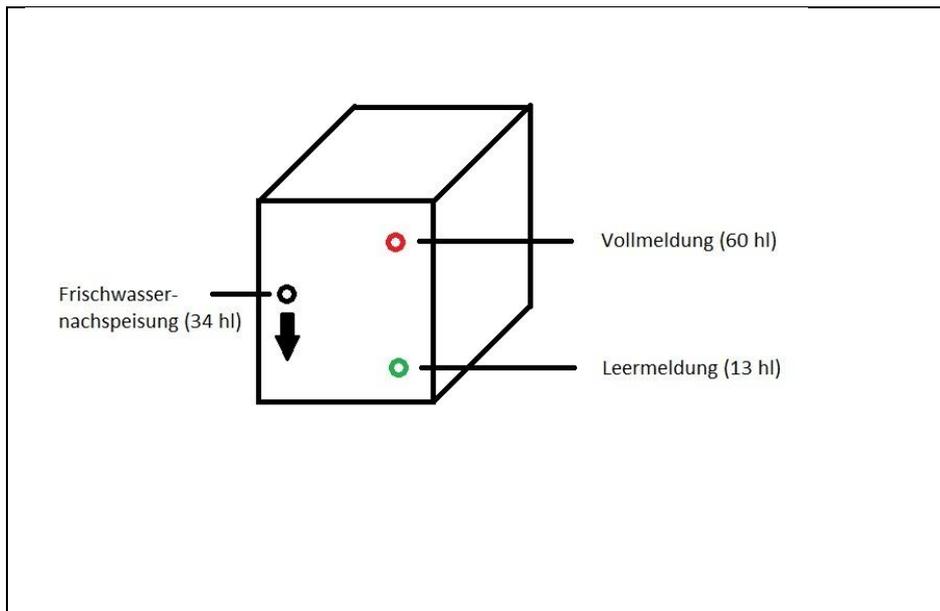


Abb. 5: CIP-Stapelwassertank

Die Frischwassernachspeisung hielt den Stapelwassertank immer auf einem Niveau von mindestens 34 hl Inhalt. Alle Anteile einer Vorspülung, die größer als 26 hektoliter (60 hl – 34 hl) waren wurden durch die Frischwassernachspeisung bereitgestellt. Umgekehrt konnten auch nicht mehr als 26 hl Wasser zurückgestapelt werden, da der Füllstand immer mindestens 34 hl betrug und der maximale Füllstand bei 60 hl erreicht war.

Die Frischwassernachspeisung wurde zunächst durch eine längere Sonde so abgeändert, dass sie erst bei 20 hl Restinhalt initiiert wurde. Hierdurch mussten 14 hl weniger Frischwasser nachgespeist werden und zusätzlich konnten 14 hl mehr Stapelwasser auffangen werden. Die Vermutung, dass durch Trombenbildung am Auslauf des Tanks Luft in die Vorlaufpumpe gezogen wird, bestätigte sich nicht.

Durch diese Maßnahme konnten bei durchschnittlich 10 Gärtankreinigungen pro Woche Frischwassereinsparungen von rund 1.400 m³ pro Jahr (10 Reinigungen x 28 hl x 50 Wochen) realisiert werden.

Weiteres Einsparpotential scheint durch eine höhere bzw. niedrigere Positionierung der Voll- bzw. Leermeldesonde erreichbar. Die Grenzen müssten hier durch Versuche ausgelotet werden.

3.3 Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Wie zuvor erwähnt ist das Thema Wassereinsparungen immer aktuell. Alle branchenspezifischen Tagungen haben derzeit mindestens einen Block, der sich mit Einsparungen, Nachhaltigkeit und Ressourcen beschäftigt. Folgende Maßnahmen zur Verbreitung sind bisher erfolgt bzw. geplant:

1. Zwischenergebnisse wurden während der Projektlaufzeit halbjährlich in den „Technisch-Wissenschaftlichen-Ausschüssen“ der VLB Oktober- und Frühjahrstagungen präsentiert und diskutiert (intern).
2. Nach Beendigung des Projektes wurden die Erkenntnisse des Vorhabens in einer Präsentation zusammengefasst und auf der technischen Veranstaltung der 100. Oktobertagung vorgetragen. Im Vortrag wurde auf die Veröffentlichung der Ergebnisse unter dem Aktenzeichen Az 27893-23 hingewiesen [6].
3. Mit der Redaktion des Fachmagazins „Brauindustrie“ ist die Veröffentlichung eines, bei Bedarf zweiteiligen, Artikels mit dem Titel „Wassereinsparungen in der Brauerei“ im Februar bzw. März abgesprochen. Alle Erkenntnisse und Maßnahmen sowie eine Optimierungscheckliste werden dort analog zu diesem Bericht veröffentlicht. Ferner soll dort ebenfalls auf das Archiv der DBU mit Angabe des Aktenzeichens verwiesen werden.
4. Die internationale Ausgabe des VLB-Brauereiforums wird den in 3. erwähnten Beitrag in gekürzter Form in englischer Sprache veröffentlichen.
5. Die Ergebnisse wurden bereits in die brautechnischen Mastervorlesungen der TU Berlin „Anlagen in der Brau- und Getränkeindustrie - Savings“ (Vorlesungsnummer 0335 L 299) eingegliedert. Gleiches ist für die internationalen „Certified Brewmaster und „Craft Brewing in Practice“ Kurse in 2014 geplant.
6. Erfolgreiche Vorträge der Oktobertagungen werden stets auf weiteren Tagungen präsentiert. Geplant sind Vorträge für 2014 auf:
 - 21. Dresdner Brauertag (April)
 - 5. Ibero-amerikanisches-Symposium in Spanien (September)
 - 3. Europäisches Microbrew Symposium in Nürnberg (November)

4. Fazit

Zusammenfassend kann der Schluss gezogen werden, dass in allen Brauereien unabhängig von Größe oder Alter teilweise beträchtliche Mengen an Wasser und Energie eingespart werden können. Moderne Anlagentechnik spielt für eine effiziente Arbeitsweise sicherlich eine wichtige, aber nicht die alleinige Rolle. Es konnte gezeigt werden, dass letztendlich das bewusste und sensible Arbeiten mit dem Medium Ressourcen und das ständige hinterfragen bestehender Prozessweisen zum Erfolg führt. Auf diese Weise sogar oftmals ohne große Investitionen. Ferner hat sich gezeigt, dass die Sensibilisierung der Mitarbeiter von überragender Bedeutung ist. Sie stehen in direktem Kontakt mit dem Prozess und können ohne große Mühe Fehler erkennen und Prozesse hinterfragen. Ein betriebliches Vorschlagswesen motiviert dabei ungemein, sensibel die Arbeitsschritte zu überdenken.

Spülschritte der CIP-Reinigung waren in der Regel mit großen Sicherheitsaufschlägen versehen ohne in irgendeiner Weise die Zusammensetzung des letzten Spülwassers zu untersuchen. Sie konnten in fast allen Fällen reduziert werden. Gleiches galt für Sterilisationsprogramme, bei denen nicht nur große Mengen Wasser sondern auch Wärme verloren ging. Durch Zusammenfassen von Reinigungsschritten wurden Tanks frei, die als Sammel tanks von Spülwässern genutzt werden konnten. Leitungen wurden teilweise vorgespült, obwohl sie durch das vorherige Ausschleiben des Produktes praktisch vorgereinigt waren. Ausgedehnte Zwischenspülungen waren einprogrammiert, obwohl durch die leitwertgesteuerte Abtrennung des Reinigungsmediums vom Wasser das Leitungssystem bereits mit praktisch rückstandsfreiem Wasser gefüllt war. Neben beachtlichen Frischwassereinsparungen, in einigen Anwendungen auf bis zu 20 % des Ausgangswertes, konnte analog durch die Verkürzung der Schritte auch elektrische Energie durch reduzierte Pumpenlaufzeiten eingespart werden. Bei allen durchgeführten Optimierungsmaßnahmen wurde die Qualität des Prozesses und Produktes nie aufs Spiel gesetzt. Das letzte Spülwasser war stets praktisch reinigungsmittelrückstandsfrei, da trotz aller Einsparungen immer noch ein gewisser Sicherheitspuffer eingeplant wurde.

Gleiches galt für den Bereich der Abfüllung. Laufende Bandschmierungen, offene Frischwasserzuläufe zur Flaschenwaschmaschine und laufende Vakuumpumpen trotz Anlagenstillstand sind einige Beispiele, die unnötigen Wasserverbrauch in den untersuchten Betrieben verursachten. Durch Sensibilisierung der Mitarbeiter in

kleineren Betrieben bzw. durch einfache, geringe Investitionen, in einfachste Regeltechnik, bei komplexeren Betrieben konnten diese unnötigen Verbräuche begrenzt werden.

Dass enorme Einsparungen möglich sind wird durch die Ergebnisse klar belegt. Eine weitere Herausforderung wird es sein diese enormen Potentiale in die mittelständischen Betriebe zu tragen. Eine Sensibilisierung der Verantwortlichen und sukzessive der Mitarbeiter ist bei diesem Thema von enormer Bedeutung und das Hauptziel. Der Aufwand einer Revision der Reinigungsprogramme ist denkbar gering und die Arbeitsweisen durchaus simpel. In der Regel ist kein abgehobenes Fachwissen, das über das eines Braumeisters hinausgeht erforderlich noch große Investitionen. Die Hauptressourcen sind Zeit und Fleiß. Dem Aufwand und den Änderungen stehen enorme finanzielle Einsparungen gegenüber die jeden Verantwortlichen überzeugen. Pro m³ Wasser und Abwasser sind Einsparungen von bis zu 3 € und mehr möglich. Werden in Modelrechnungen die Volumina aufs Jahr hochgerechnet ergeben sich größtenteils enorme finanzielle Potentiale.

Tab. 10: Erzielte Einsparungen durch Optimierungen vor Ort

| Betrieb | Größe [hl] | Wasser [m ³] | Geld [€] | Wasser [hl/hl] |
|-------------------|------------|--------------------------|----------|----------------|
| A | 610.000 | 10.850 | 49.996 | 0,18 |
| B | 20.000 | 4.230 | 13.536 | 2,12 |
| C | 150.000 | 9.240 | 23.644 | 0,62 |
| D | 2.200.000 | 32.273 | 85.523 | 0,15 |
| E | 900.000 | 24.500 | 58.800 | 0,30 |
| F (Abfüllbetrieb) | - | 10.872 | 29.942 | - |
| G | 505.000 | 24.440 | 49.540 | 0,48 |
| H | 650.000 | 14.500 | 27.441 | 0,22 |
| I | 30.000 | 8.000 | 24.230 | 2,67 |
| J | 320.000 | 16.000 | 35.200 | 0,50 |
| K | 80.000 | 17.000 | 45.600 | 2,13 |
| L | 20.000 | 3.220 | 9.800 | 1,61 |
| M | 800.000 | 22.450 | 51.635 | 0,28 |
| N | 1.100.000 | 21.000 | 59.240 | 0,19 |
| O | 50.000 | 11.230 | 29.467 | 2,246 |

In Tabelle 10 sind nur die vor Ort erarbeiteten und umgesetzten Maßnahmen kurz dargestellt um zu verdeutlichen, welche enormen Einsparpotentiale mit wenigen Wochen Auditarbeit möglich, sind. Weitere Potentiale wurden aufgedeckt, Vorschläge erarbeitet und teilweise später umgesetzt. Die finanziellen Einsparungen wurden aus den eingesparten m³ und den jeweiligen Kosten für Frisch- und Abwasser der Brauerei berechnet. Es ist sehr schön zu erkennen, dass die Reduzierung des spezifischen Wasserverbrauchs in hl/hl mit abnehmender Betriebsgröße enorm ist.

Literaturverzeichnis

- [1] Ahrens, A., Kunzmann, Ch., „Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Reinigung“, Brauindustrie 3 (2006), S. 24 - 27
- [2] Schu, G.F., "Betriebsvergleich Energie" 1998, Brauwelt 4 (2001), S. 116-120
- [3] Raspe, O., „Nachhaltigkeit in der Praxis“, Brauwelt 32 (2009), S. 905-910
- [4] Dessecker, M., „Wasser- und Energieeinsparungen im Flaschenkeller – Praktische Erfahrungen aus der Brauerei Grolsch“, 97. Brau- und Maschinentechnische Arbeitstagung Eindhoven 2010
- [5] Kunzmann, C., Schildbach, S., Ahrens, A., „Einsparungs-potentiale in der Flaschenreinigungsmaschine“, Brauwelt 41/42 (2004), S. 1240 – 1246
- [6] Prokein, D., „Wettbewerb zwingt Firmen zu Investitionen“, Brauereiforum 12 (2013), S. 10 - 13