

# Flaschenreinigung mit Hochtemperaturwärmepumpe

**ZUM PATENT ANGEMELDET** | Im vorliegenden Artikel wird ein neues, zum Patent angemeldetes Verfahren zur Reinigung von Mehrwegflaschen vorgestellt, das hinsichtlich Energie- und Wassereinsparung einen zusätzlichen Quantensprung bedeutet. Die Angaben beruhen auf Simulationen des Maschinenbauers und Berechnungen des Erfinders. Ausschlaggebend für das innovative Verfahren ist die Kombination einer Flaschenreinigungsmaschine (FRM) mit einer Hochtemperaturwärmepumpe (HTWP) und Ankopplung an ein (vorhandenes) BHKW.

**MEHRWEGFLASCHEN** machen derzeit in Deutschland 44,3 Prozent des Getränkeabsatzes aus [1]. Der Getränkeabsatz belief sich 2014/2015 auf 32,4 Mrd Liter. Geht man von einer mittleren Gebindegröße von 0,5 Liter aus, so ergibt sich eine Zahl von 28,7 Mrd Flaschen/Jahr, die vor der Wiederbefüllung gereinigt werden müssen. Weltweit handelt es sich natürlich um ein Vielfaches, auch wenn außerhalb Deutschlands deutlich weniger Mehrweggebinde zum Einsatz kommen.

Mehrwegflaschen sind umweltfreundlicher als Einwegflaschen. Der Energie- und Ressourcenverbrauch für Rücktransport und Reinigung ist bei Mehrwegflaschen geringer als der Herstellungsaufwand für Einwegflaschen. Dies gilt umso mehr, je re-

gionaler der Vertrieb und je höher die Zahl der Wiederbefüllungen ist [2].

## Reinigung von Mehrwegflaschen

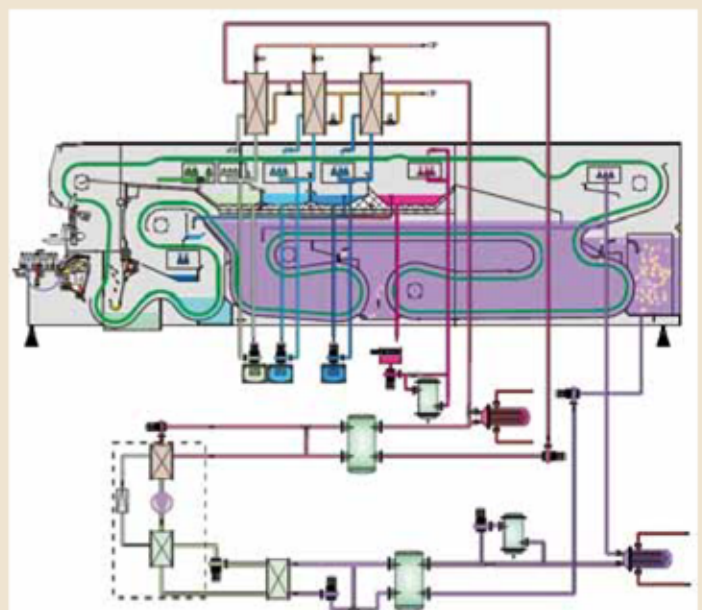
In einer Flaschenreinigungsmaschine durchlaufen die Schmutzflaschen verschiedene Zonen, in denen sie chemisch, thermisch und mechanisch gereinigt werden.

Man kann grob folgende Zonen unterscheiden:

- Flaschenaufgabe;
- Vorweiche/Vorspritzung;
- Hauptlaugebad;
- Nachlaugespritzung;
- Warmwasser 2-Spritzung (WW2);
- Warmwasser 1-Spritzung (WW1);
- Kaltwasser-Spritzung;
- Frischwasser-Spritzung.

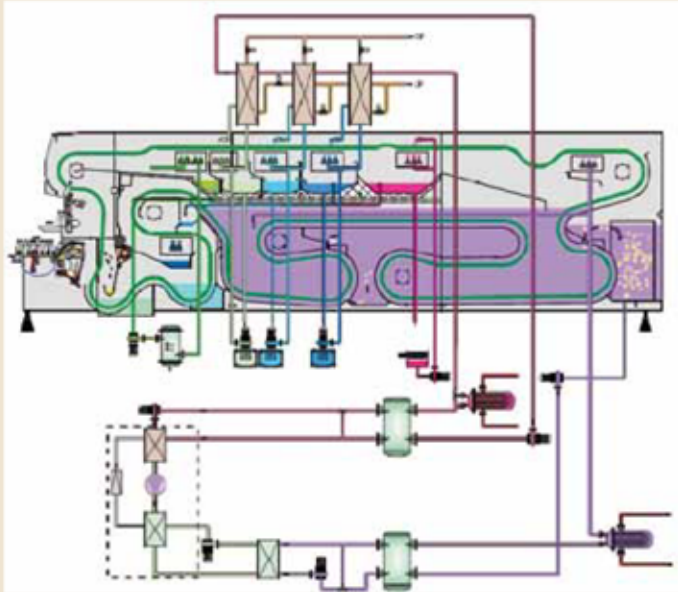
Die Zonen können linear hintereinander angeordnet sein (Zweieindmaschinen bzw. Doppelendmaschinen) oder innerhalb der Maschine wieder zur Vorderseite zurückgeführt werden (Einendmaschinen).

Die Flaschen werden in Flascenträgern nebeneinander mittels Transportketten durch die Zonen gefördert. Die Anzahl von Flaschen in einer Reihe (Maschinenbreite) ist abhängig von der gewünschten Ausbringung (Flaschen pro Stunde). Die Flaschen müssen am Austritt frei von Etiketten und inneren und äußeren Schmutzanhaftun-



**Abb. 1**  
Schema Flaschenreinigungsmaschine mit Hochtemperaturwärmepumpe und Nachlaugenfiltration

**Autoren:** Dr. Georg Schu und Matthias Kern, IGS Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik GbR, Hallbergmoos; Anna Zweigardt, Krones AG, Neutraubling; Hans-Jürgen Iwan, Brauerei Aying Franz Inselkammer KG, Aying



**Abb. 2**  
Flaschenreini-  
gungsmaschine mit  
Hochtemperaturwär-  
mepumpe und Was-  
seraufbereitung

gen, hygienisch sauber und frei von Rückständen der verwendeten Reinigungsmittel sowie ausreichend weit rückgekühlt sein.

Sowohl bei Einend- als auch bei Zweiendmaschinen werden die Schmutzflaschen über die Breite der Maschine über Transportbänder und eine Drängelaufgabe zugeführt. Dabei sind die Flaschen nebeneinander angeordnet. Da die Durchlaufzeit durch die FRM nicht beliebig verändert werden kann, ist die Leistung im Wesentlichen von der Anzahl der auf der Maschinenbreite zu behandelnden Flaschen und der Transportgeschwindigkeit abhängig. Je größer die gewünschte Ausbringung, desto breiter und/oder länger ist die FRM. Die Flaschen werden an der Drängelaufgabe von automatischen Greifern angehoben und über eine Aufgabevorrichtung in die Flaschenkörbe geschoben. Die einzelnen Korbreihen sind über Transportketten verbunden und werden so durch die einzelnen Reinigungsstationen der FRM geführt. Zunächst erfolgt eine Restentleerung, dann ein Tauchbad oder Spritzung in der sogenannten Vorweiche mit anschließender Entleerung und übergangslosem Weitertransport in das Hauptlaugebad. Dieses ist in vertikalen oder horizontalen Schleifen angeordnet und stellt eine gewisse Weichzeit sicher. Hier wird der innen und außen anhaftende Schmutz gelöst. Noch im Weichbad erfolgt das Absaugen der Etiketten, die über eine Etikettenaustragung aus der Weichlauge entfernt werden. Anschließend werden die Flaschen über Kopf über mehrere Nachbehandlungszonen geführt. In Transportrichtung der Flaschen handelt es sich zunächst um Heißlauge und dann um

Wasser mit abnehmender Laugenkonzentration und Temperatur. Am Ende werden die Flaschen mit kaltem Frischwasser ausgespritzt. Dies ist notwendig, um die gewünschte Abgabetemperatur der Flaschen und eine vollständige Entfernung von Lauge- und Tensidresten in den gereinigten Flaschen sicherzustellen. Meist sind zwei oder drei Spritzbalken für Frischwasser (FW) angeordnet. Die Qualität der letzten Spritzung muss der Trinkwasserverordnung entsprechen.

**Weiterentwicklung von Flaschenreinigungsmaschinen**

In der Vergangenheit, insbesondere in den letzten Jahren, wurden große Anstrengungen unternommen, um den Frischwasserverbrauch der FRM zu verringern. Heute werden an optimierten FRM bereits Verbrauchswerte von 110-200 ml/Fla-

sche erreicht. Der Wärmebedarf der FRM steht auch in direktem Zusammenhang mit der Höhe des Frischwasserbedarfes, da der Wärmestrom über den Ablauf aus der Vorweiche meist den größten Anteil am Wärmebedarf darstellt. Weitere Anteile des Wärmebedarfes ergeben sich aus dem Wärmestrom über die Flaschen, über die ausgetragenen Etiketten, über die Abstrahlung der FRM und über die Schwaden- und Kopfraumabsaugung.

Eine weitere Reduzierung des Frischwasserbedarfes scheiterte bisher an:

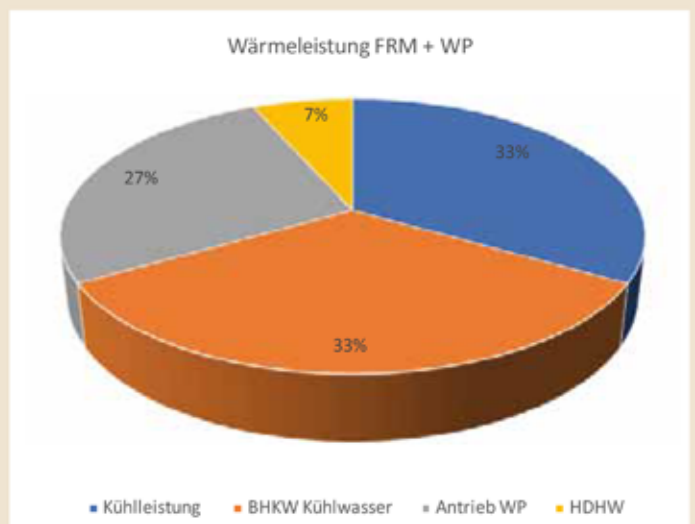
- nicht ausreichender Rückkühlung der Flaschen;
- steigende Konzentration von Lauge und Tensiden in den Nachbehandlungszonen.

Für diese beiden Problembereiche werden nachfolgend Lösungen vorgestellt.

Für eine ausreichende Rückkühlung wird ein Frischwassereinsatz von ca. 110-280 ml/Fl als erforderlich angesehen (in Abhängigkeit von Maschinenauslegung und FW-Temperatur). Das Minimum für eine ausreichende Frischwasserspülung der Flaschen liegt aber nur bei 50 ml/Fl [3]. Dies entspricht dann dem Wasserdurchsatz der letzten Spritzung.

Die FRM stellt in der Getränkebranche einen der Hauptwärme- und Wasserverbraucher dar. Es besteht in den Betrieben ein großes Interesse, sparsamere Maschinen einzusetzen, um die Energie- und Ressourceneffizienz zu erhöhen und den Kostendruck zu senken.

Die Entwicklung des spezifischen Wasserbedarfes der FRM in den letzten Jahrzehnten ist in Tabelle 1 dargestellt. Einige Hersteller von FRM liegen auch heute noch bei > 300 ml/Fl.



**Abb. 3**  
Wärmebilanz der  
Hochtemperatur-  
wärmepumpe



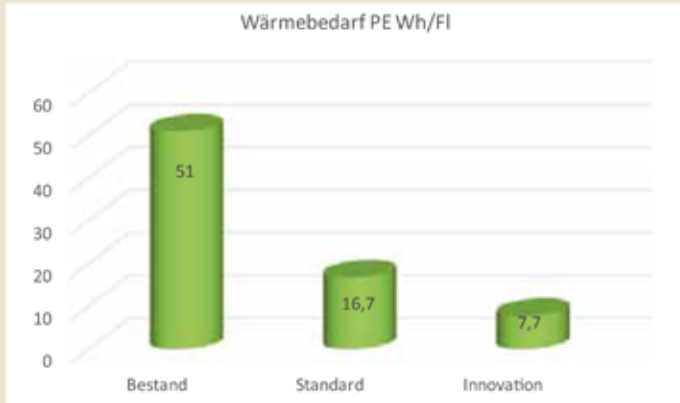


Abb. 4 Einsparung spezifischer Primärenergiebedarf

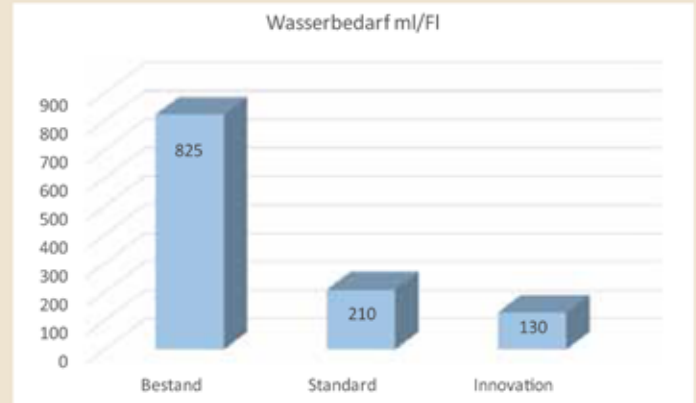


Abb. 5 Einsparung Frischwasser durch Innovation

Eine bekannte Maßnahme zur Reduzierung des Frischwasserbedarfes besteht darin, am Ende der Nachbehandlungszonen Spülwasser zu entnehmen, dieses aufzubereiten und damit dann die erste Frischwasserspritzung zu ersetzen. Damit konnten zwischen 30 und 50 Prozent des Frischwasserbedarfes eingespart werden.

Eine weitere Reduzierung des Frischwassereinsatzes war aber nicht möglich, da die geforderte Rückkühlung der Flaschen nicht mehr funktionierte und aufgrund des geringen Flüssigkeitsdurchsatzes bei gleichbleibender Verschleppung die Konzentration der Lauge und von Tensiden in den Becken zunahm. Hierzu war in der Vergangenheit bereits vorgeschlagen worden, einen Teilstrom aus der FRM zu entnehmen und diesen über einen Rückkühler zu führen, um so die überschüssige Wärme an die Umgebung abzugeben. In warmen Ländern und beim Zwang, Wasser einzusparen, musste sogar eine aktive Kühlung des Frischwassers eingesetzt werden.

Auch der Wärmebedarf der FRM konnte durch eine Vielzahl von Maßnahmen reduziert werden, unter anderem durch die Reduktion des Frischwasserbedarfes. Neben weiteren Maßnahmen wurde das Laugenbecken isoliert (Abstrahlung), Energiespar-Flaschenträger eingesetzt, die H<sub>2</sub>-Absaugung geregelt, die Laugentemperatur reduziert und eine Rekuperation zwischen Rückkühlzone und Vorweiche eingeführt.

Die Entwicklung des spezifischen Wärmebedarfs im laufenden Betrieb der FRM ist in Tabelle 2 dargestellt.

### Verfahrensbeschreibung

Das im Folgenden vorgestellte Konzept gilt für einen konkreten Fall. Die Umsetzung des Projektes erfolgt Ende 2018. Ausgehend von einer heutigen Standard-FRM mit einer

Nennausbringung von 23 500 Fl/h (Euro-Flasche, 0,5 l) werden notwendige Modifikationen und Ergänzungen an der FRM vorgenommen. Die Einstellausbringung wurde auf 21 500 Fl/h festgelegt. Ein Verfahrensschema der Anlage ist in Abbildung 1 zu sehen.

Aufgrund der Kühlung durch die HTWP kann der Frischwasserbedarf von 210 ml/Fl bei der konfigurierten Standardmaschine auf 130 ml/Fl reduziert werden. Die erste FW-Spritzung ist deshalb im Normalbetrieb (mit HTWP) abgeschaltet. Bei Nichteinhaltung der gewünschten Abgabtemperatur (z. B. Ausfall der HTWP) wird diese Spritzreihe in Betrieb genommen, um die Rückkühlung sicherzustellen.

Die Kälteleistung der HTWP beträgt dabei rund 100 kW. Stellt die Kühlung in den Nachbehandlungszonen die einzige Wärmequelle für die Wärmepumpe dar, kann der Wärmebedarf der FRM nur anteilig gedeckt werden. Die Wärme wird über in Reihe geschaltete Wärmetauscher aus den Nachbehandlungszonen „Kaltwasser“, „Warmwasser 2“ und „Warmwasser 1“ entzogen. Der Kühlkreislauf erwärmt sich dabei von 33 °C auf 50 °C. Steht eine zusätzliche Wärmequelle mit höherer Temperatur zur Verfügung, so kann der Kühlkreislauf vor Eintritt in den Verdampfer der HTWP

weiter erwärmt werden auf 60 °C. Als zusätzliche Wärmequelle steht im vorliegenden Fall Kühlwasser aus einem bestehenden BHKW zur Verfügung (Energiespeicher). Durch den zusätzlichen Wärmebedarf für FRM und HTWP kann – zumindest im Sommer – die Laufzeit des BHKW erhöht und Eigenstrom erzeugt werden. Durch die Gleichzeitigkeit des Betriebes kann der zusätzliche Strombedarf für die HTWP mit Peripherie aus Eigenstrom gedeckt werden.

Eine weitergehende Reduzierung des FW-Bedarfes ist nur mit einer zusätzlichen Wasseraufbereitung des bereits benutzten FW im Teilstrom möglich. Dazu muss dann ein zusätzliches Auffangbecken in der FRM vorgesehen werden. Der Teilstrom (50 %) entspricht dabei dem FW-Bedarf, der Rest läuft über in die WW2-Zone. In den Teilstromkreislauf wird eine Wasseraufbereitung (z. B. Feinfiltration) integriert. Abbildung 2 zeigt ein Prinzipschaltbild.

Das aufzubereitende Wasser wird nun nicht wie üblich am Ende der Nachbehandlungszone (Überlauf Warmwasser 1), sondern am „sauberen Ende“ entnommen, indem das Wasser in der Frischwasserzone aufgefangen und über eine Wasseraufbereitung gefahren wird. Es handelt sich dabei um Wasser mit den geringsten Verunreinigungen, weshalb an die Komplexität der

### ENTWICKLUNG ...

... des spezifischen **Wasserbedarfes** von Flaschenreinigungsmaschine

1980	1000 ml/Fl
1990	300-700 ml/Fl
heute	110-280 ml/Fl
Zukunft	50 ml/Fl

Tab. 1

### ENTWICKLUNG ...

... des spezifischen **Wärmebedarfs** von Flaschenreinigungsmaschine

1980	17-25 Wh/Fl
1990	14-20 Wh/Fl
heute	8 Wh/Fl
Zukunft	4 Wh/Fl

Tab. 2



Aufbereitung auch entsprechend geringe Anforderungen gestellt werden.

Nur in Kombination mit einer Kühlung und Wasseraufbereitung kann der Wasserbedarf bei der Reinigung von Mehrwegflaschen weiter reduziert werden.

### ■ Einsparpotential Energie

Ziel ist, den Betriebswärmebedarf der FRM möglichst weitgehend über die Heizleistung der Wärmepumpe zu decken. Der Wärmebedarf der FRM ergibt sich über eine Simulationssoftware des Herstellers unter den gegebenen Randbedingungen zu 300 kW thermisch. Die ausgesuchte HTWP hat bei den herrschenden Temperaturen eine Heizleistung von ca. 280 kW. Der elektrische Leistungsbedarf ergibt sich zu 80 kW. Man benötigt also eine Wärmezufuhr auf der „kalten“ Seite in Höhe von  $280 \text{ kW} - 80 \text{ kW} = 200 \text{ kW}$ . Damit ergibt sich ein Defizit von 100 kW. Dieses wird im vorliegenden Fall über ein bestehendes BHKW und den zugehörigen Energiespeicher bereitgestellt. Eine Wärmebilanzierung der HTWP ist in Abbildung 3 zu sehen.

Durch die zusätzliche Wärmesenke erhöht sich – vor allem im Sommer – die Laufzeit des BHKW und dadurch auch dessen Stromerzeugung. Durch diese Nachheizung des Kühlkreislaufes durch das BHKW-Kühlwasser kann die Temperatur von  $50^\circ\text{C}$  auf  $60^\circ\text{C}$  erhöht werden.

Wird das BHKW in Teillast betrieben, um genau den Nachheizbedarf für die Wärmepumpe aus dem E-Speicher zu decken, so ergibt sich eine Teillast von 84 Prozent. Die Leistung des Abgaswärmetauschers liegt dann bei 92 kW, wovon nur 20 kW am Laugewärmetauscher benötigt werden. Die elektrische Leistung ergibt sich zu 167 kW, wovon nur 98,5 kW für den Antrieb der Wärmepumpe und die zusätzliche Peripherie benötigt werden. Bewertet man die nutzbaren Überschüsse mit dem Kesselnutzungsgrad bzw. bei der elektrischen Leistung mit dem durchschnittlichen Kraftwerkswirkungsgrad, so ergibt sich in Summe ein vermiedener Primärenergieeinsatz, der vom Primärenergiebedarf des BHKW in Abzug gebracht werden kann.

Der spezifische Primärenergiebedarf ergibt sich durch Division mit dem stündlichen Flaschendurchsatz zu 7,7 Wattstunden (Wh)/Fl. Abbildung 4 zeigt das energetische Einsparpotential der innovativen Gesamtlösung. Würde die FRM ausschließlich über Hochdruckheißwasser beheizt, ergäbe

sich der Primärenergieaufwand unter Berücksichtigung des Kesselnutzungsgrades zu 360 kW bzw. 16,7 Wh/Fl. Die Einsparung an Primärenergie im Vergleich zur Standard-FRM ergibt sich somit zu 54 Prozent.

Besonders interessant ist der Vergleich mit der bestehenden FRM. Diese weist einen Betriebswärmebedarf von 51 Wh/Fl auf. Bei einem vergleichbaren Flaschendurchsatz entspricht das einer Wärmeleistung von 1093 kW und einem Primärenergieeinsatz von 1561 kW. Die Einsparung an Primärenergie im Vergleich zur Bestands-FRM ergibt sich somit theoretisch zu 85 Prozent.

### ■ Einsparpotential Wasser

In der Frischwasserzone sind üblicherweise drei Spritzrohre vorgesehen. Das dritte Spritzrohr wird jetzt nur benötigt, wenn die Kühlung durch die Wärmepumpe ausfällt. Damit ergibt sich im Normalbetrieb gegenüber der Normalausführung eine Einsparung von 37 Prozent. Eine weitergehende Reduzierung ist nur möglich durch Änderungen in der Verfahrenstechnik. Die verwendete HTWP stellt aber eine Voraussetzung dafür dar. Abbildung 5 zeigt das Einsparpotential an Wasser im Vergleich zu Bestands- und Standardmaschine. Vergleicht man die neue Lösung mit der Bestandsmaschine, so liegt die Wassereinsparung bei 84 Prozent.

Im vorgesehenen Fall handelt es sich um einen einschichtigen Abfüllbetrieb. Es werden nur ca. 750 Volllaststunden pro Jahr erreicht. Bei einem zweischichtigen oder gar dreischichtigen Betrieb und voller Auslastung in der Füllerei werden monetäre Einsparungen in mehrfacher Höhe bei gleicher Investition erzielt. Dann amortisieren sich die Mehrinvestitionen entsprechend schnell.

### ■ Innovationsförderung

Aufgrund des hohen Innovationsgrades wurde eine Förderung über das Programm zur Förderung von Investitionen mit Demonstrationscharakter zur Verminderung von Umweltbelastungen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) beantragt. Die Projektskizze wurde durch KIW, Umweltbundesamt und das Bundesministerium geprüft und die Förderungswürdigkeit festgestellt. Der Antrag wurde durch Bescheid vom 21.12.2017 bewilligt. Die Mehrkosten des Verfahrens gegenüber einer marktüblichen Flaschenreinigungsmaschine wer-

den mit knapp 260 000 EUR gefördert. Der Dank gilt dem BMUB, dem Umweltbundesamt und der KIW, da ohne die Zuwendung im vorliegenden Fall das Projekt nicht hätte realisiert werden können.

### ■ Zusammenfassung

Die Reinigung von Mehrwegflaschen ist – insbesondere bei hohen Umlaufzahlen – energetisch effektiver als die Herstellung und einmalige Verwendung von Einwegflaschen. Bei der Weiterentwicklung der Reinigungstechnik von Mehrwegflaschen konnten in der Vergangenheit bereits große Erfolge erzielt werden.

Bei dem beschriebenen Verfahren handelt es sich um eine Kombination aus Flaschenreinigungsmaschine, Hochtemperaturwärmepumpe und der Anbindung an ein, in diesem Fall bereits vorhandenes BHKW. Als Alleinstellungsmerkmale für das zum Patent angemeldete Verfahren sind einerseits die HTWP zur gleichzeitigen Kühlung und Heizung und andererseits der Einsatz einer Wasseraufbereitung in der FW-Spritzzone anzuführen.

Theoretisch wird der Primärenergiebedarf bezogen auf die Bestandsmaschine um 85 Prozent reduziert und der Frischwasserbedarf um 84 Prozent. Bezogen auf die bereits optimierte Standardmaschine wird der Primärenergiebedarf um 54 Prozent reduziert und der Frischwasserbedarf um 37 Prozent.

Die Anlagen werden noch in diesem Jahr installiert und in Betrieb genommen. Über die Praxiserfahrungen wird dann im Jahr 2019 in der BRAUWELT berichtet. ■

### ■ Literatur:

1. Heinisch, J.; Leighty, A.: Bundesweite Erhebung von Daten zum Verbrauch von Getränken in Mehrweg- und ökologisch vorteilhaften Einweggetränkeverpackungen für die Jahre 2014 und 2015; Bericht 2015; Umweltbundesamt, Juni 2017.
2. Einweg und Mehrweg – Aktuelle Ökobilanzen im Blickpunkt. IFEU, 2010, online verfügbar unter: [http://www.ifeu.de/oekobilanzen/pdf/IFEU%20Handreichung%20zur%20Einweg-Mehrweg-Diskussion%20\(13Juli2010\).pdf](http://www.ifeu.de/oekobilanzen/pdf/IFEU%20Handreichung%20zur%20Einweg-Mehrweg-Diskussion%20(13Juli2010).pdf), Zugriff am 18.06.2018.
3. Voigt, T.: Temperaturreduzierung bei der Flaschenreinigung. 19. Flaschenkellerseminar, TUM, Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik, 2012.



# Pilotanlage: Flaschenreinigung mit Hochtemperaturwärmepumpe

**PRAXISTEST** | In der Brauerei Aying Franz Inselkammer KG, Aying, wurde im Frühjahr 2019 eine neu entwickelte Verfahrenskombination von einer Flaschenreinigungsmaschine (FRM) mit einer Hochtemperaturwärmepumpe (HTWP) und dem bereits bestehenden Blockheizkraftwerk (BHKW) in Betrieb genommen.

**BEI DER ENTWICKLUNG** von Flaschenreinigungsmaschinen ist die Einsparung von Frischwasser dadurch begrenzt, dass eine maximale Flaschenabgabtemperatur nicht überschritten werden darf. Entsprechend ist eine bestimmte Frischwassermenge zur Kühlung der Flaschen notwendig. In der neuen FRM werden die Nachbehandlungszonen mit einem Kühlmedium gekühlt, so dass der Wasserbedarf zur Rückkühlung der Flaschen erheblich abgesenkt werden kann. Die Kühlung erfolgt über eine HTWP. Um gleichzeitig den Wärmebedarf der FRM zur Beheizung des Hauptlaugebeckens decken zu können, wird der HTWP als zusätzliche Wärmequelle Abwärme aus einer bestehenden KWK-Anlage mit Energiespeicher zur Verfügung gestellt. Neben der Wassereinsparung kann auch der Wärmebedarf erheblich reduziert werden.

Im ersten Teil dieser Publikation (BRAUWELT Nr. 31-32, 2018, S. 903-906) wurde das neue Verfahren zur Reinigung von Mehrwegflaschen vorgestellt. Die dort vorgestellten Verbrauchswerte in Bezug auf Wasser und Wärme stellten zunächst Prognosen dar. Nachdem die FRM mit den erforderlichen Anbauten und den zusätzlich notwendigen maschinellen Einrichtungen in Betrieb genommen wurde, konnten im Rahmen von Abnahmemessungen die tatsächlich erzielten Verbrauchswerte ermittelt werden.



**Abb. 1** Frontansicht der Flaschenreinigungsmaschine

## Verfahrensbeschreibung

Als FRM kommt eine Lavatec E4.CS.E249 der Krones AG, Neutraubling, zum Einsatz (Abb. 1). Es wird auf das Prinzipschaltbild Abbildung 1 aus Teil 1 der Veröffentlichung Bezug genommen.

Eine wesentliche Änderung zur Standardmaschine besteht darin, dass die Nachbehandlungszonen (NBZ) über außenliegende Wärmeübertrager gekühlt werden. Die Kühlung erfolgt dabei im Gleichstrom zum Wassertransport in den NBZ der FRM (Abb. 2).

Das Kühlmedium wird stufenweise erwärmt und steht dann als Wärmequelle für den Verdampfer der HTWP zur Verfügung. Die stufenweise Erwärmung kann am Display der FRM abgelesen werden (Abb. 3).

Im vorliegenden Fall ist die HTWP der Ochsner Wärmepumpen GmbH, Linz, Österreich, so dimensioniert, dass über den Kondensator der gesamte Wärmebedarf zum Beheizen der Lauge in der FRM gedeckt werden kann (Abb. 4). Dabei ist dem Kühlmedium nach Durchgang durch die Wärmeübertrager ein weiterer Wärmeübertrager nachgeschaltet. Dieser wird über das Heizwasser aus dem Energiespeicher 2 beheizt und bringt das zuvor zur Kühlung eingesetzte Medium – jetzt Heizmedium – auf die benötigte Temperatur, bevor dieses dem Verdampfer der HTWP zugeführt wird (Abb. 5).

Die Wärme wird dem Energiespeicher 2 entnommen, der eine Erweiterung des Energiespeicher 1 darstellt. Der Energiespeicher 2 wird von unterschiedlichen Quellen gespeist:

- Energiespeicher 1 (Kühlwasser BHKW);
- Überschusswärme Abgaswärmetauscher (AWT);
- Hochdruckheißwasser (HDHW).  
HDHW kommt erst zum Einsatz, wenn

**Autoren:** Dr. Georg Schu und Matthias Kern, IGS Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik Dr. Georg Schu und Matthias Kern GbR, Hallbergmoos; Anna Zweigardt, Krones AG, Neutraubling; Hans-Jürgen Iwan, Brauerei Aying, Aying



Abb. 2 Kühlung Nachbehandlungszonen (während Montage)



Abb. 3 Bedienerdisplay der Flaschenreinigungsmaschine

der Speichervorrat im Energiespeicher 2 zu Ende geht, weil nicht genügend Wärme vom AWT zur Verfügung steht und vom Energiespeicher 1 nicht genügend nachströmen kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Abgaswärme des BHKW auf den Rücklauf des HDHW übertragen wird, es sich dabei also um Wärme aus der Wärmerückgewinnung (WRG) des BHKW handelt. Vom Energiespeicher 2 wird nicht nur das Nachheizen der Wärmequelle gedeckt. Es wurden/werden noch weitere Verbraucher angeschlossen:

- neue Strahlungsheizung Füllerei;
- Raumheizung neue Expedition (vorbereitet);
- Beheizung neue Lagerhalle (vorbereitet).

### Ergebnisse

Bei der energetischen Abnahme wurde jeweils ein Zeitraum ohne HTWP und mit HTWP gemessen.

Beim Betrieb ohne die HTWP und Beheizung der Lauge mittels HDHW ergaben sich die Werte entsprechend Tabelle 1.

Im Messzeitraum wurden 70 315 Flaschen gereinigt. Das entspricht einem mittleren Flaschendurchsatz von 15 920 Fl/h. Der Frischwasserbedarf lag bei 12,601 m<sup>3</sup>. Daraus ergibt sich ein spezifischer Frischwasserbedarf von 179,2 ml/Fl. Der garantierte Wert liegt bei 210 ml/Fl. Der Garantiewert wurde um 14,7 Prozent unterschritten.

Der garantierte Wärmebedarf liegt bei 42,2 kJ/Fl. Ohne HTWP muss der gesamte Wärmebedarf über HDHW gedeckt werden. Die Brennstoffwärme am Kessel kann aus dem gesamten Gasbedarf abzüglich dem Gasbedarf des BHKW berechnet wer-

den. Für den Messzeitraum wurden am Kessel 5520 kWh, bezogen auf den Brennwert, eingesetzt. Umgerechnet auf den Heizwert sind dies 4974 kWh und als Nutzwärme nur noch 3481 kWh.

Bei laufendem BHKW liefert der Abgaswärmeübertrager Wärme auf den Rücklauf HDHW. Somit stammt ein Teil des benötigten HDHW vom BHKW und ist entsprechend zu bewerten. Die mittlere Leistung des Abgaswärmeübertragers betrug im Messzeitraum 94,5 kW, das entspricht einer im Messzeitraum gelieferten Wärmemenge von 417,3 kWh. Damit lässt sich der BHKW-Anteil am HDHW berechnen.

An der Wärmemengenmessung (WMM) für HDHW zur FRM wurde im Messzeitraum ein Bedarf in Höhe von 800 kWh ermittelt. Eine Ablesung ist leider nur auf 10 kWh genau. Damit liegt der spezifische Ist-Wärmebedarf zwischen 41,0 und 41,4 kJ/Fl. Der Garantiewert wurde um 2,8 bzw. 1,9 Prozent unterschritten.

Entsprechend dem Anteil an der HT-Wärmelieferung durch das BHKW ergibt sich ein Primärenergiebedarf über den HDHW-Kessel in Höhe von 14,51 Wh/Fl und über das BHKW in Höhe von 1,22 Wh/Fl. Insgesamt liegt der Primärenergiebedarf (PE-Bedarf) bei 15,7 Wh/Fl.

Die Ergebnisse der Abnahme mit HTWP zeigt Tabelle 2.

Im Messzeitraum wurden 48 521 Flaschen gereinigt. Die mittlere Ausbringung lag bei 18 543 Fl/h. Der Frischwasserbedarf lag bei 5,728 m<sup>3</sup>. Daraus ergibt sich ein spezifischer Frischwasserbedarf von 118,1 ml/Fl. Der garantierte Wert liegt bei 130 ml/Fl. Der Garantiewert wurde um 9,2 Prozent unterschritten.

In der Anlage sind mehrere WMM sowie eine Messung des Strombedarfs der WP vorhanden. Aus der Bilanz kann die Verlustwärmeleistung der WP bestimmt werden. Diese ergibt sich, wenn man von der Summe aus zugeführter Leistung (Kühlleistung



Abb. 4 Hochtemperaturwärmepumpe der Firma Ochsner



+ Heizleistung Energiespeicher 2 + elektr. Leistung) die gemessene Kondensatorleistung abzieht.

Da sowohl die elektrische Leistung als auch die Wärmeleistung zum Nachheizen der HTWP vom bestehenden BHKW geliefert werden, wird der entsprechende PE-Bedarf berechnet.

Würde man nur den Einsatz an thermischer Energie berücksichtigen, ergäbe sich ein spezifischer, thermischer Primärenergieeinsatz in Höhe von 2,6 Wh/Fl. Der Primärenergieaufwand für die Erzeugung des Eigenstroms errechnet sich unter Zugrundelegung der Wirkungsgrade des BHKW.

Wie jede Art von Stromerzeugung so weist auch das BHKW entsprechende Verluste auf. Diese ergeben sich, wenn man von 100 Prozent den elektrischen und den thermischen Wirkungsgrad subtrahiert. Im vorliegenden Fall liegen die Verluste der Stromerzeugung dann bei 25,6 Prozent. Per Definition werden die Verluste der Stromerzeugung zugeordnet, da ein BHKW immer wegen der Stromerzeugung eingesetzt wird.

Der auf die Stromerzeugung entfallende PE-Bedarf ergibt sich dann wie folgt:

$$PE = A_{el, BHKW} / \eta_{el} * (\eta_{el} + (1 - \eta_{el} - \eta_{therm}))$$

Setzt man die entsprechenden Daten ein, so ergibt sich der auf den Strombedarf der HTWP ergebende PE-Bedarf zu 7,11 Wh/Fl. Insgesamt liegt der PE-Bedarf dann bei 9,71 Wh/Fl.

### ERGEBNISSE VOM BETRIEB OHNE WP

Anzahl Flaschen	Fl	70315
mittl. Durchsatz	Fl/h	15920
Wasserbedarf	ml	12601338
Garantiewert Wasserbedarf	ml/Fl	210
mittl. Wasserbedarf	ml/Fl	179
Garantiewert Wärmebedarf	kJ/Fl	42,2
Ist Wärmebedarf	kJ/Fl	41,0
	Wh/Fl	11,38
PE therm. spez. Kessel	Wh/Fl	14,51
PE therm. spez. BHKW	Wh/Fl	1,22
PE gesamt	Wh/Fl	15,73

Tab. 1

Bezogen auf den Wasserbedarf der alten Bestandsmaschine (825 ml/Fl) ergibt sich eine Wassereinsparung in Höhe von 85,7 Prozent.

Bezogen auf die neue FRM ohne HTWP ergibt sich eine Wassereinsparung in Höhe von 34,1 Prozent.

Bezogen auf den Wärmebedarf der alten Bestandsmaschine (51 kJ/Fl) ergibt sich eine PE-Einsparung in Höhe von 81 Prozent.

Bezogen auf die neue FRM ohne HTWP ergibt sich eine PE-Einsparung in Höhe von 38,3 Prozent. Hier wurde vom tatsächlichen Wärmebedarf und einem Nutzungsgrad von 70 Prozent ausgegangen.

Der cop (coefficient of performance) der HTWP setzt den Ertrag ins Verhältnis zum

Aufwand. Im vorliegenden Fall setzt sich der Ertrag aus der Kühlleistung auf der „kalten“ Seite und der Heizleistung auf der „warmen“ Seite zusammen.

Der Aufwand entspricht der elektrischen Leistung, die der HTWP zugeführt wird (einschließlich der zugehörigen Verbraucher in der Peripherie). Über den Messzeitraum ergibt sich der mittlere cop wie folgt:

$$cop = \frac{90,4 kW + 207,6 kW}{74,8 kW} = 3,98$$

Auch in den ersten Berechnungen zu dem Konzept war von einem cop = 4,0 ausgegangen worden.

ERGEBNISSE VOM BETRIEB MIT HTWP

Anzahl Flaschen	Fl	48521
mittl. Durchsatz	Fl/h	18543
Wasserbedarf	ml	5728127
mittl. Wasserbedarf	ml/Fl	118
Kühlleistung WP	kW	90,4
Kondensatorleistung	kW	207,6
P el Kompressor	kW	74,8
Heizleistung ESP 2	kW	48,1
Verlustleistung	kW	5,8
PE therm. spez.	Wh/Fl	2,60
PE el. spez.	Wh/Fl	7,11
PE gesamt	Wh/Fl	9,71
cop Wärmepumpe gesamt		3,98

Tab. 2



Abb. 5 Nachheizen Wärmequelle

**Zusammenfassung**

Die neue FRM in der Brauerei Aying hat sowohl mit als auch ohne die HTWP die vom Hersteller zugesagten Verbrauchswerte eingehalten – sie sogar unterschritten. Nach der Einbindung in die vorhandene Umgebung und der Inbetriebnahme der HTWP haben die Messungen gezeigt, dass die Prognosen aus dem ersten Teil der Veröffentlichung auch in der Praxis Bestand haben.

Die Wassereinsparung rührt daher, dass bei Zuschaltung der HTWP eines von drei Spritzrohren für Frischwasser abgeschaltet wird. Die vorhandenen Differenzen zu einem Drittel sind auf geringfügig unterschiedliche Spritzdrücke und auf Fertigungstoleranzen zurückzuführen. Hier sind noch zusätzliche Einsparpotenziale vorhanden, da der Wasserdurchsatz noch weiter abgesenkt werden könnte, ohne dass das Reinigungsergebnis betroffen wäre. Ei-

ne weitere Wassereinsparung kann aber zu Schmutzablagerungen in der FRM führen, die dann einen erhöhten Reinigungsbedarf nach Abfüllende hervorrufen.

Die aufgezeigten Einsparungen hinsichtlich Wasser und PE-Einsatz sind erheblich.

Eine monetäre Wirtschaftlichkeit der zusätzlichen Investitionen in Änderungen an der FRM und in die zusätzliche Maschinenteknik setzt entsprechend hohe Laufzeiten voraus. Im Zwei- und Dreischichtbetrieb einer größeren Abfüllung ist mit entsprechend kürzeren Rücklaufzeiten zu rechnen. Für größere Abfüllbetriebe, die im Mehrschichtbetrieb arbeiten, dürfte ein größeres Potenzial für den Einsatz dieser Technik vorhanden sein.

**Danksagung**

Pilotanlagen sind immer teurer. Bei Folgeprojekten dürfte eine Reduzierung der Investitionskosten möglich sein. Ohne die

Förderung durch das Umweltinnovationsprogramm wäre eine Realisierung des Projektes am Standort nicht möglich gewesen. Deshalb gilt unser Dank der Kreditanstalt für Wiederaufbau, dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und dem Umweltbundesamt für die Ermöglichung des Vorhabens durch Gewährung eines Zuschusses in Höhe von ca. 260 000 EUR.

Unser Dank gilt auch den Inhabern und der Geschäftsleitung der Brauerei, die erhebliche Risiken eingegangen sind, da es sich um ein neues, unerprobtes Verfahren handelte. Der Bereitschaft zu dieser Vorreiterrolle ist hohe Achtung zu zollen.

Unser Dank gilt zudem den beteiligten Firmen, ohne deren Expertise in Hydraulik und Steuerungs- und Automatisierungstechnik eine Realisierung auf diesem hohen technischen Niveau nicht möglich gewesen wäre. ■