

# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## Erläuterungen zum Projekt

„Zweiphasige Entwicklung und Erprobung des Kreislaufverfahrens „Water and Energy Saving System“ (WESSY) für Prozesswärme und Prozesswasser in Brauerei- und Getränkebetrieben“

### 1.1 Zielsetzung des Projektes (siehe auch Projektphase I)

Das Projekt „Kreislaufsystem für Prozesswärme und Prozesswasser in Brauerei- und Getränkebetrieben“ hat die Entwicklung und praktische Erprobung eines Systems zur Kreislaufführung von Wasser und Abwärme bei der Reinigung von Mehrwegflaschen zum Gegenstand.

Die Einführung eines Kreislaufsystems für Spülwasser an Flaschenreinigungsmaschinen mit der primären Zielsetzung einer signifikanten Trinkwassereinsparung stellt zwei Bedingungen an die Behandlung des Wassers für den erneuten Einsatz im Reinigungsprozess:

- Die Schmutzfracht muss dem Wasser entzogen werden, so dass dieses mindestens den Anforderungen der Trinkwasserverordnung entspricht.
- Das Temperaturniveau bei Ersatz von Frischwasser muss eine ausreichend niedrige Abgabetemperatur der gereinigten Flaschen gewährleisten (i.d.R. 30°C Flaschenabgabetemperatur). Aus dem Kreislaufwasser muss ausreichend Wärme abgeführt werden um dies sicherzustellen.

Daraus ergeben sich die zwei Entwicklungsschwerpunkte, welche in der ersten Projektphase zu erarbeiten sind. Die praktische Erprobung des entwickelten Systems findet in der zweiten Projektphase statt.

### 1.2 Projektstart und Projektpartner

Das Projekt wurde am 18.10.2002 durch die DBU als förderungswürdig bewertet und mit einer Laufzeit von zunächst 18 Monaten für die Projektphase I bewilligt.

#### Antragsteller

→ Ingenieurbüro Ledwig, Donaueschingen = Bewilligungsempfänger



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## Projektpartner

- Althaus Brautechnik, Balingen
- Bayrisches Institut für Abfallforschung (BIFA), Augsburg
- Henkel- Ecolab GmbH & Co. KG, Düsseldorf
- Membran-Filtrations-Technik GmbH (MFT), Köln

## 1.3 Ergebnisse der Projektphase I (siehe Abschlussbericht Projektphase I)

In der Projektphase I (Zwischenbericht vom 23.02.2004) konnten die gesetzten Ziele nicht erreicht werden. In den durchgeführten Versuchen, insbesondere bei den Feldversuchen hat sich gezeigt, dass die Leistung der Umkehrosmose auch bei geeigneter Auswahl an Chemikalien sehr sensibel auf unterschiedliche Betriebsbedingungen reagiert.

Darüber hinaus hat sich die in den Feldversuchen eingesetzte Vorfiltrationstechnik als unzureichend erwiesen. Die im Warmwasser II enthaltenen Restmengen an Entschäumer, welche in die Waschlauge dosiert werden, führten zur irreversiblen Verblockungen der eingesetzten Membranen.

Weiterhin wurde eine mikrobiologische Verkeimung der Membran festgestellt, welche auf längere Stillstandszeiten während der Versuchsphase (Außerbetriebnahme) zurückgeführt werden konnte.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Projektphase I zu der Erkenntnis führte, dass weitergehende Laboruntersuchungen über adäquate Vorfiltrationsstufen notwendig sind im Sinne der Findung einer praktikablen und sicheren Lösung, deren Wirksamkeit dann in einem weiteren Feldversuch zu belegen wäre.

Die Thematik Bilanzierung der Volumen- und Energieströme wurde im Bericht der Projektphase I, Punkt 3.2 eingehend behandelt. Daher wird an dieser Stelle darauf verwiesen.



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 1.4 Wechsel der Projektpartner und Fortführung des Förderprojektes (Projektphase II)

### Wechsel Projektpartner

Die Problematik der Membranverblockung wurde im Kreis der Projektpartner intensiv diskutiert. So wurde sogar die Entwicklung von membranverträglichen Entschäumern (durch Henkel- Ecolab) im Zuge der Problemlösung angedacht, jedoch wieder verworfen, da hierfür das Marktpotenzial zu gering erschien. Der Projektpartner MFT kündigte die Projektbeteiligung auf, da er in dem angedachten Konzept keinen wirtschaftlichen Vorteil im Vergleich zu einer zweistufigen Membranfiltration sah. Ein weiterer Projektpartner (Herr Althaus) verstarb.

Die Fortführung des Projektes war nun in Frage gestellt. Jedoch wurde die Aufgabe der weiteren Projektverfolgung zu diesem Zeitpunkt vom Antragsteller als Vergeudung von Ressourcen angesehen. Somit sah der Antragsteller sich gezwungen - in Abstimmung mit der DBU - einen neuen Projektpartner zu finden, der sowohl über die verfahrenstechnische Kompetenz verfügt, als auch die Förderrichtlinien der DBU erfüllt. Mit der Fa. Seebach als Hersteller von Filterelementen zur Partikelabscheidung in Flüssigkeiten und Gasen konnte ein Projektpartner gewonnen werden, der die obigen Anforderungen nicht nur erfüllt, sondern auch über ein hausinternes Entwicklungslabor verfügt, in welchem die ersten Vorversuche durchgeführt werden konnten.

### Fortführung des Projektes → Projektphase II

Infolge der Suche nach einem neuen Projektpartner ist zwangsläufig ein relativ großer Zeitverzug bei der Bearbeitung des Projektes eingetreten. Schließlich konnte am 23.04.2007 nach Unterzeichnung des Kooperationsvertrages zwischen dem Antragsteller Ingenieurbüro Ledwig und der Fa. Seebach das Projekt fortgeführt werden.

## 1.5 Praxisnachweis

Die aus den Ergebnissen der Projektphase II gewonnenen Erkenntnisse sollen nun mit dem Bau und Betrieb einer „großtechnischen Anlage“ umgesetzt werden. Für einen solchen Praxisnachweis hat sich bereits ein Brauereibetrieb, welcher eine neue Flaschenreinigungsmaschine entsprechend dem „Stand der Technik“ betreibt, bereit erklärt.

Dabei ist es vorgesehen, durch Einsatz mehrerer parallel geschalteter Membranmodule und einem 2. Arbeitstank die für die höhere Durchsatzleistung notwendige Membranfläche zu installieren und somit durch den Anlagenaufbau einen „quasi-kontinuierlichen“ Anlagenbetrieb der Aufbereitungs- und Recyclinganlage zu gewährleisten. In der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurden sowohl Investitionen, Betriebskosten, die Filtrationsleistung und



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

die damit verbundene Einsparung für die großtechnische Umsetzung des Konzeptes unterstellt. Eine Nachkalkulation muss den entsprechenden Nachweis hierfür belegen.

## 1.6 Korrekturen

Die Anmerkungen und Hinweise zur Berechnung (Seite 5, Absatz „Eine moderne Brauerei“), zu den Einheiten (Seite 7, Bild 3) und zur Partikelgrößenverteilung (Seite 9) wurden geprüft und im Bericht korrigiert bzw. erläutert.

Die Aussage Seite 28 bezüglich der „Ausschleusung von Partikelgrößen“  $\ll 50 \mu\text{m}$  mittels einem abreinigbaren Spaltfilter abzutrennen bezieht sich auf die Aufgabenstellung für den großtechnischen Maßstab (Praxisnachweis); d.h. hier käme ggfls. ein Spaltfilter mit z.B.  $25 \mu\text{m}$  zum Einsatz.



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

**Projekt:** Kreislaufsystem für Prozesswärme und Prozesswasser  
in Brauerei- und Getränkebetrieben (WESSY)

AZ18349

**Thema:**

- Erläuterungen zum Projekt
- Bericht Projektphase I
- Abschlussbericht Projektphase II

**Verteiler:** DBU, Ingenieurbüro Ledwig, Seebach



06.11.2010



# BERICHT

Blatt 1 von 50



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

**Projekt:**           Kreislaufsystem für Prozesswärme und Prozesswasser in  
                          Brauerei- und Getränkebetrieben (WESSY)

**Thema:**            Zwischenbericht zur ersten Projektphase

**Verteiler:**         DBU, mft, BfA, ecolab, IBL

## Inhalt:

1	Hintergrund und Zielsetzung, Projektphase I .....	2
1.1	Wasseraufbereitung .....	2
1.2	Wärmerückführung.....	7
2	Vorgehensweise und Aufgabengebiete .....	8
2.1	Konzeptentwicklung Wasseraufbereitung .....	8
2.2	Konzeptentwicklung Wärmerückführung .....	9
2.3	Vorversuche zur Machbarkeitsuntersuchung .....	9
3	Arbeitsergebnisse .....	12
3.1	Konzeptentwicklung Wasseraufbereitung .....	12
3.2	Konzeptentwicklung Wärmerückführung .....	16
3.3	Gesamtkonzept .....	26
3.4	Gesetzliche Rahmenbedingungen .....	28
3.5	Vorversuche zur Machbarkeitsuntersuchung .....	32
4	Auswertung und Diskussion.....	37
4.1	Verfahren zur Wasseraufbereitung .....	37
4.2	Wärmerückführung in den Reinigungsprozess.....	38
4.3	Vorversuche im Technikum und im Labor .....	39
5	Fazit.....	42
5.1	Technische Umsetzung.....	42
5.2	Ökologische Bilanzierung.....	43
5.3	Wirtschaftliche Betrachtung.....	48
6	Literaturverzeichnis.....	50



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de



## 1 Hintergrund und Zielsetzung, Projektphase I

Das Projekt „Kreislaufsystem für Prozesswärme und Prozesswasser in Brauerei- und Getränkebetrieben“ hat die Entwicklung und praktische Erprobung eines Systems zur Kreislaufführung von Wasser und Abwärme bei der Reinigung von Mehrwegflaschen zum Gegenstand.

Die Einführung eines Kreislaufsystems für Spülwasser an Flaschenreinigungsmaschinen mit der primären Zielsetzung einer signifikanten Trinkwassereinsparung stellt zwei Bedingungen an die Behandlung des Wassers für den erneuten Einsatz im Reinigungsprozess:

- Die Schmutzfracht muss dem Wasser entzogen werden, so dass dieses mindestens den Anforderungen der Trinkwasserverordnung entspricht.
- Das Temperaturniveau bei Ersatz von Frischwasser muss eine ausreichend niedrige Abgabetemperatur der gereinigten Flaschen gewährleisten (i.d.R. 30°C Flaschenabgabetemperatur). Aus dem Kreislaufwasser muss ausreichend Wärme abgeführt werden um dies sicherzustellen.

Daraus ergeben sich die zwei Entwicklungsschwerpunkte, welche in der ersten Projektphase zu erarbeiten sind. Die praktische Erprobung des entwickelten Systems findet in der zweiten Projektphase statt.

### 1.1 Wasseraufbereitung

#### Prozess, Flaschenreinigung

Die Reinigung von Mehrwegflaschen in kontinuierlich arbeitenden Flaschenreinigungsmaschinen ist in Abbildung 1-1 dargestellt. Zuerst durchlaufen die Flaschen in eine Vorreinigung, welche in der Regel mit dem ablaufenden Wasser der Spülungen gespeist wird. Es handelt sich meist um ein oder zwei Vorweichebäder, eventuell mit vorgeschalteter Restentleerung und einer Vorspritzung vor dem Hauptlaugebad. Im Hauptlaugebad werden die Flaschen bei einer Temperatur von ca. 80°C mehrere Minuten einer ca. 1,5 - 2,5%igen Natronlauge ausgesetzt um sämtliche Etiketten und anhaftende Verunreinigungen zu entfernen. Anschließend erreichen die Flaschen eine Ausspritzung mit Nachlauge. Hier werden noch anhaftende Schmutzpartikel abgespült. Die Spülkaskade im Anschluss senkt die Temperatur der Flaschen und beseitigt die durch Haftwasser verschleppten Verunreinigungen und Reinigungsmittelrückstände restlos.



# BERICHT

Blatt 3 von 50

1. Hintergrund und Zielsetzung, Projektphase I



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

Das Spülwasser wird hier im Gegenstrom zu den Flaschen geführt. Der Frischwasserbedarf für die Spülkaskade ergibt sich in erster Linie aus der gewünschten Abgabetemperatur der Flaschen.

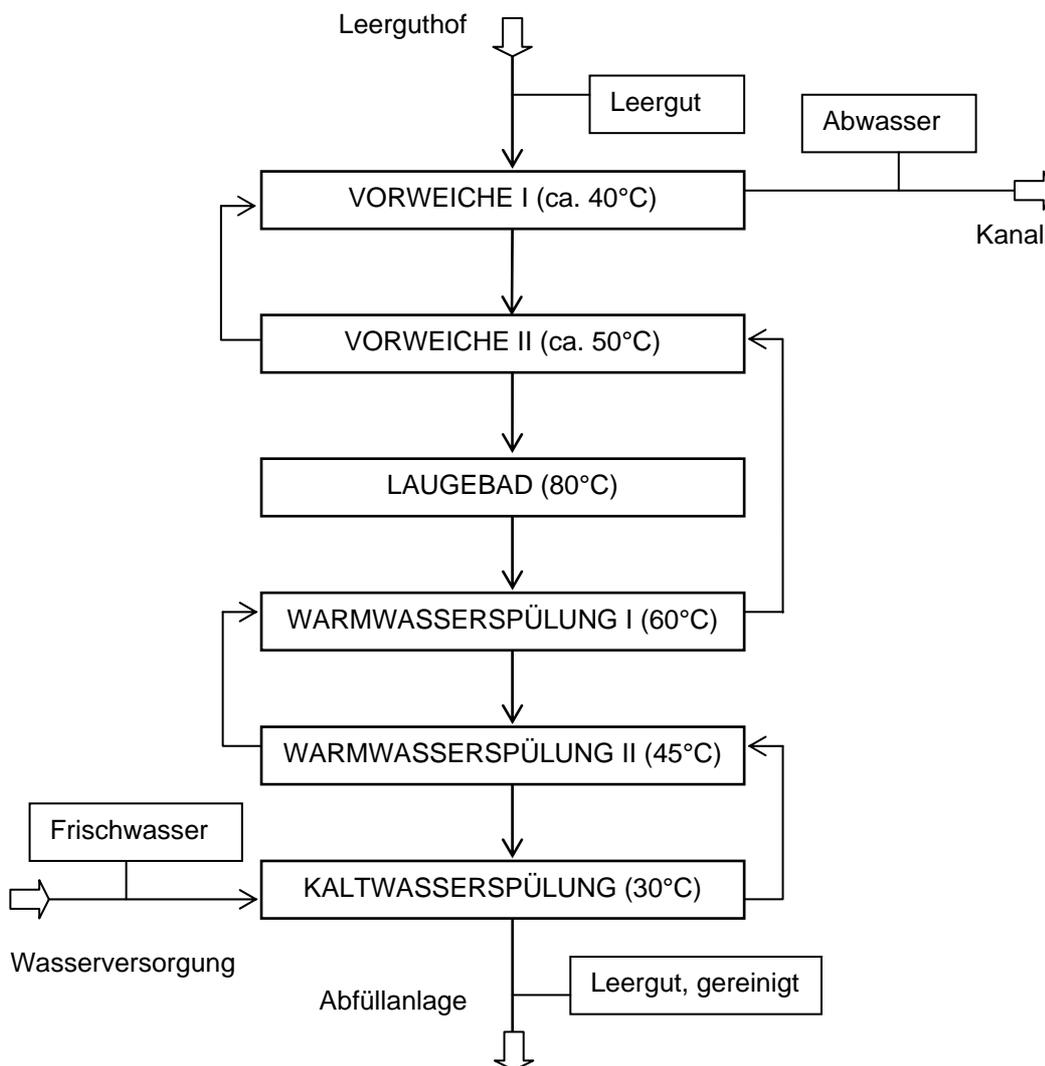


Abbildung 1-1: Grundfließbild einer modernen Flaschenreinigungsmaschine

Da die meisten Getränke, abgesehen von Fruchtsäften, kalt abgefüllt werden, dürfen die Flaschen eine Temperatur von 30°C nach der Reinigung nicht überschreiten. Ande-



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de

# BERICHT

Blatt 4 von 50

1. Hintergrund und Zielsetzung, Projektphase I



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

renfalls würden viele Flaschen infolge der Temperaturdifferenz bei der Abfüllung zerspringen oder CO<sub>2</sub>-haltige Getränke überschäumen. In der Abbildung 1-2 ist der typische mechanische Aufbau einer modernen Flaschenwaschmaschine schematisch dargestellt. Die Beschickung erfolgt hier über das untere Transportband; die gereinigten Flaschen werden von der Maschine auf das obere Transportband abgegeben.

## Kreislaufansatz

Um einen sinnvollen Ansatzpunkt für die Kreislaufführung des Spülwassers zu finden sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- Schmutzfracht: Diese sollte möglichst gering sein, um die Aufbereitung so einfach wie möglich zu halten
- Temperatur: Je höher die Temperatur des entnommenen Wassers, desto aufwendiger muss dieses gekühlt werden um die Flaschenabgabetemperatur einzuhalten
- Zusammenhängende Reinigungsschritte: Die Entnahme zwischen zusammenhängenden Schritten wie beispielsweise den einzelnen Zonen der Spülkaskade ist nicht sinnvoll, da hier starke thermische und hydraulische Abhängigkeiten bestehen

Von den möglichen Ansatzpunkten scheidet demnach die Vorweiche wegen ihrer extrem hohen und undefinierbaren Schmutzbelastung (durch Restentleerung der Flaschen) und die hinteren Zonen (FW und KW) der Spülkaskade (es bliebe zu wenig Wasser zur Kühlung in den vorderen Zonen übrig) aus.

Der beste Ansatzpunkt ist daher das ablaufende Wasser der Warmwasserzone I (WW I). Die Belastung dieses Wassers lässt sich vergleichsweise eng eingrenzen und in die thermischen und hydraulischen Verhältnisse der Spülkaskade wird zunächst nicht eingegriffen. Der Nachteil dieses Ansatzpunktes ist die hohe Temperatur, welche eine starke Temperaturabsenkung notwendig macht. Die dem Kreislaufwasser entzogene Wärme kann und muss jedoch zumindest teilweise der Vorweiche zugeführt werden, da hier ohne das Kreislaufwasser ein Teil des Wärmeintrags verloren geht. Das nicht dem Kreislauf zugeführte Spülwasser muss ebenfalls in die Vorweiche (VW) eingeleitet werden, um dort eine Aufkonzentrierung der eingetragenen Schmutzfracht zu verhindern. Der Kreislauf kann aus diesem Grund nicht komplett geschlossen werden.



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de

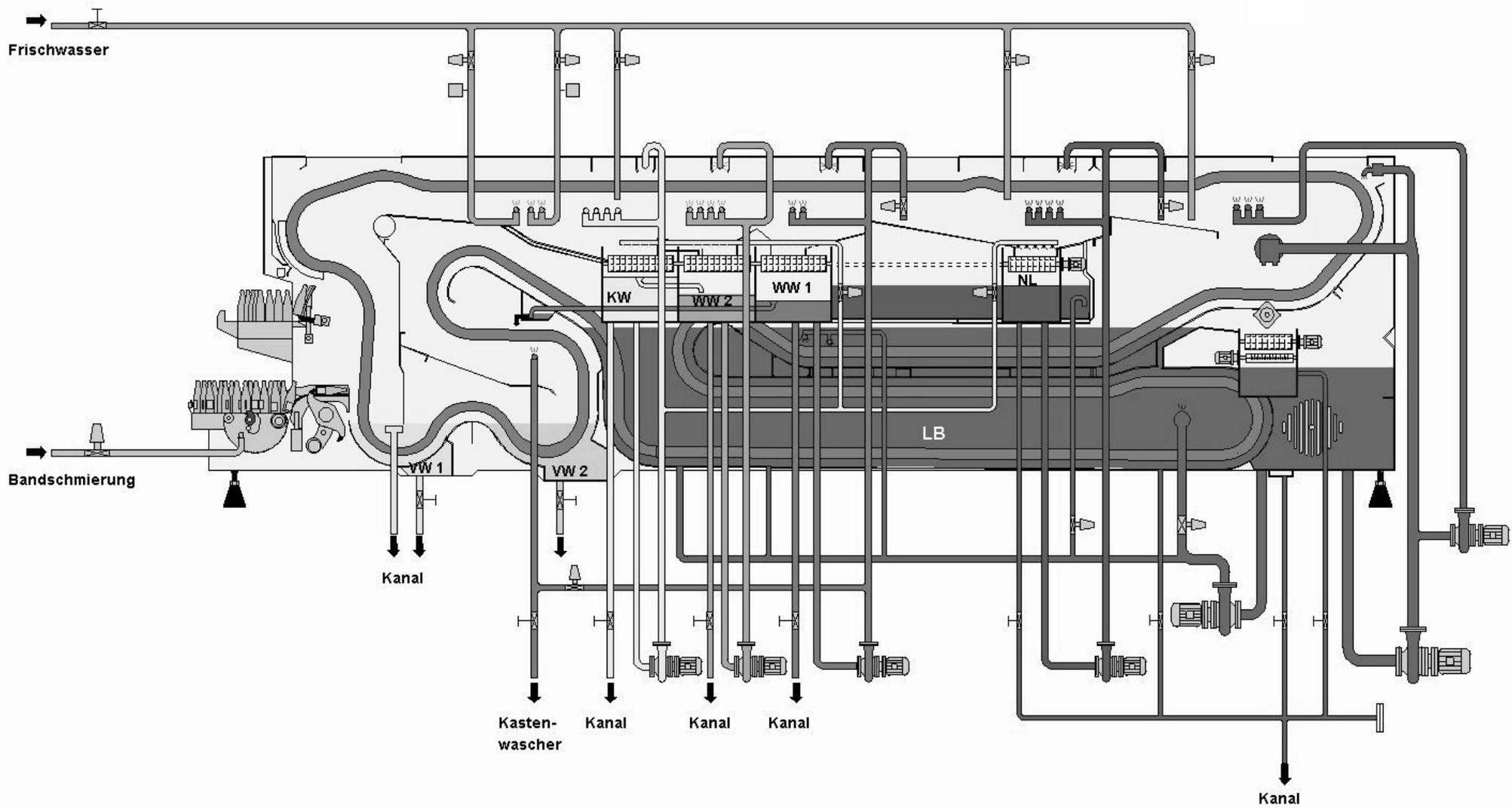


Abbildung 1-2: Beispiel, Flaschenreinigungsmaschine (Quelle: Krones AG, Neutraubling)

# BERICHT

Blatt 6 von 50

1. Hintergrund und Zielsetzung, Projektphase I



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## Wasserbelastung

Von einem Reinigungsbereich zum nächsten wird durch Haftwasser ein Volumen von ca. 15 bis 30ml pro Flasche (konstruktionsabhängig) des jeweiligen Mediums verschleppt. Bei einem Spülwassereinsatz von 200 bis 300ml pro Flasche bedeutet dies eine Verdünnung von ca. 1:10 in jedem der Kaskadenschritte. Die Belastung des Spülwassers aus der Warmwasserzone I liegt meist bei weniger als 10% der Belastung des Laugebades, da die Belastung auch durch die Nachlaugespritzung etwas reduziert wird. Diese wird von Rögner [2] detailliert beschrieben:

Verunreinigungen aus Getränkerückständen:

- Getränkereste
- Salze
- Säuren
- Kohlenhydrate, Proteine, Hefe
- Fette
- Rohfaseranteil

Verunreinigungen aus Hilfsstoffen und Umwelt:

- Mineralische Ablagerungen
- Etikettenfarbstoff und Zelluloseprodukte aus Etikettenpapier
- Reste von Reinigungsmitteln
- Leime
- Klebstoffe
- Fette
- Bandschmiermittel
- Flaschenetiketten und Farbpigmente
- Sporen und Bakterien
- Rost

Hinzu kommen die Bestandteile der Reinigungslauge:

- Natronlauge
- Reinigungsadditive zur Laugenkonditionierung
- Schaumhemmende Tenside
- Chemikalien zur Verhütung von Steinbildung
- Säuren zur pH-Regulierung
- Desinfektionsmittel



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de

# BERICHT

Blatt 7 von 50

1. Hintergrund und Zielsetzung, Projektphase I



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

Auf Grund der komplexen Zusammensetzung der Reinigungsmedien wird die Belastung in der Regel als Summenparameter (Oxidierbarkeit CSB und organisch gebundener Kohlenstoff TOC) bestimmt und angegeben. In Hauptlaugebädern vieler FRM's stellt sich nach entsprechenden Betriebserfahrungen meist ein CSB von 6.000 bis 10.000 mg/l ein. Die durchschnittliche Belastung des WW I liegt verschiedenen Literaturstellen (z.B. [1], [2]) zufolge bei 150-300 mg/l CSB, 50-200mg/l TOC. Die Leitfähigkeit bewegt sich im Bereich 1-3mS/cm. Die Belastungen variieren dabei deutlich in Abhängigkeit der unterschiedlichen Getränkearten.

Für den Einsatz des aufbereiteten Wassers an Stelle von Frischwasser ist die Belastung des Kreislaufwassers auf Trinkwasserniveau zu reduzieren. Es werden daher für die genannten Summenparameter folgende Sollwerte formuliert:

- CSB: < 5mg/l
- TOC: < 5mg/l
- pH: 6,5 ÷ 9,5

## 1.2 Wärmerückführung

Der für das WESSY- Kreislaufkonzept gewählte Ansatzpunkt für die Kreislaufführung stellt hohe Anforderungen an die thermische Prozessführung:

Das hohe Temperaturniveau bei der Entnahme aus dem Reinigungsprozess wirft drei hauptsächliche Problemstellungen auf:

- Es ist eine große Temperaturdifferenz zu überbrücken um das Wasser anstelle von Frischwasserersatz verwenden zu können: ca. 40K
- Parallel hierzu fehlt die entnommene verhältnismäßig große Wärmemenge in vorgelagerten Reinigungsschritten, die dort also zumindest teilweise ersetzt werden muss (Vorweiche)
- Der Einfluss der Temperatur auf die Leistung und Randbedingungen der Wasseraufbereitung muss betrachtet und bei der Konzepterarbeitung entsprechend berücksichtigt werden.



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de

# BERICHT

Blatt 8 von 50

2. Vorgehensweise und Aufgabengebiete



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 2 Vorgehensweise und Aufgabengebiete

Die Arbeiten zur Entwicklung des Kreislaufsystems lassen sich in drei Hauptaufgabengebiete gliedern:

- Entwicklung eines Konzeptes für die Wasseraufbereitung
- Entwicklung eines Konzeptes für die Wärmerückführung
- Vorversuche zur Machbarkeitsuntersuchung der Wasseraufbereitung

### 2.1 Konzeptentwicklung Wasseraufbereitung

Entsprechend der betrieblichen und rechtlichen Rahmenbedingungen ist die Qualität des aufbereiteten Wassers bezüglich Parameter und Inhaltsstoffe zu definieren.

Um eine angemessene und den Anforderungen entsprechende Aufbereitung des Kreislaufwassers durchführen zu können, deren Funktion jederzeit sichergestellt ist, sind zunächst die in Frage kommenden Verfahren einander gegenüber zu stellen.

- Welches Verfahren, ggf. in welcher Variante gewährleistet die geforderte Wasserqualität?
- Welche Bedingungen stellt das entsprechende Aufbereitungsverfahren an das Rohwasser?
- Welche Vorbehandlung wird notwendig um die ordnungsgemäße Funktionsweise der Aufbereitung sicherzustellen?
- Sind durch die Wasseraufbereitung nachteilige Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten, welche den Nutzen der Wassereinsparung wiederum relativieren?
- Ist das gewählte Verfahren für den Betreiber wirtschaftlich oder können/müssen ggf. Maßnahmen zur ökonomischen Optimierung getroffen werden?

Bearbeiter: mft, IBL



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de

# BERICHT

Blatt 9 von 50

2. Vorgehensweise und Aufgabengebiete



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 2.2 Konzeptentwicklung Wärmerückführung

Bei dem WESSY- Kreislaufsystem stellt die thermische Prozessführung die zweite Hauptaufgabe an die Entwicklung. Zunächst müssen die erforderlichen Prozessparameter definiert werden

- In welchen Temperaturbereich muss das Kreislaufwasser für den Ersatz von Frischwasser gebracht werden?
- Welchen Einfluss hat die Kreislaufführung auf die einzelnen Reinigungsschritte in thermischer Hinsicht?
- Welche Anforderungen an die Wärmerückführung ergeben sich hieraus?
- Welcher Temperaturbereich ist in den Wasseraufbereitungsschritten einzuhalten?

Bearbeiter: IBL

## 2.3 Vorversuche zur Machbarkeitsuntersuchung

Nach Auswahl des Verfahrens zur Wasseraufbereitung ist dieses im Labor- und im Technikumsmaßstab mit dem entsprechenden Medium in der Praxis zu erproben. Die Versuche sollen Aufschluss darüber geben, ob das Verfahren in der Praxis geeignet ist, die Anforderungen zu erfüllen und welchen Einfluss die Zusammensetzung des Rohwassers auf die Leistungsfähigkeit der Aufbereitung hat.

Die Vorversuche werden untergliedert in:

### Feldversuche im Technikumsmaßstab

Diese Versuche dienen dazu, Erkenntnisse zur Praxistauglichkeit des Aufbereitungsverfahrens unter realen Bedingungen zu erlangen. Es werden drei konkrete Ziele verfolgt:

1. Die Ermittlung der Reisezeit (Laufleistung in Stunden) der eingesetzten Membran sowie die Ermittlung der Parameter, die beim Einsatz dieser Membran auftreten. Die Membran sollte bis zur kompletten Verblockung (d.h. Erreichen einer Durchflussmenge  $< 5 \text{ l/h/m}^2$  oder eines Drucks  $> 30 \text{ bar}$ ) im normalen Be-



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de

# BERICHT

Blatt 10 von 50

2. Vorgehensweise und Aufgabengebiete



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

- trieb gefahren werden. Erwartet wird eine Laufzeit von mindestens 1 Abfüllwoche, 40 Betriebsstunden im Einschicht-Betrieb.
2. Ermittlung des Membranverhaltens hinsichtlich Druckanstieg, thermischem Verhalten, Abreinigungsverhalten nach Erreichen der Verblockung und dem Verhalten hinsichtlich der eingesetzten Reinigungsmedien und Additive in der Waschmaschine.
3. Feststellung der mikrobiologischen Rückhaltung hinsichtlich bierschädlicher Kontaminationen.

Um diese Versuche so praxisnah wie möglich zu gestalten, werden sie an einer üblichen Flaschenreinigungsmaschine durchgeführt. Hierbei wird einer im regulären Betrieb befindlichen Maschine das entsprechende Spülwasser in geringer Menge entnommen und mit einer Versuchsanlage aufbereitet.

## *Beschreibung des Versuchsaufbaus:*

Verwendet wird die Versuchsanlage Typ RD – 0111.3 HP 1 der Firma MFT Köln, als Membran wird zunächst der Membrantyp SU 710 der Firma Hydronautics getestet. Dieser Membrantyp wurde aufgrund seiner Temperaturstabilität bis 65° C und seiner Wirtschaftlichkeit hinsichtlich Investition und Betriebskosten gewählt (Niederdruckmembran). Die Membranfläche des Moduls beträgt 8 m<sup>2</sup>, der Durchmesser des Moduls 4,0 Zoll. Die Versuchsanlage ist mit einer Volumenstromregelung ausgestattet, welche für den Versuch einen konstanten Permeatstrom erlaubt. Als Kriterium für die Aufbereitungsleistung wird die transmembrane Druckdifferenz (=Betriebsdruck) herangezogen. Bei Überschreiten eines Wertes von 30 bar wird die Membrane als verblockt betrachtet.

Das Rohwasser wird aus der Warmwasserzone 1 entnommen, in einen Puffertank (1000 l) zwischengespeichert. Der Puffertank dient zur Vergleichmäßigung der im Rohwasser enthaltenen Inhaltsstoffe sowie zum Ausgleich stärkerer Temperaturschwankungen. Aus dem Puffertank wird das Rohwasser zuerst zur Abscheidung von größeren Partikeln über einen Sandfilter und einen Wickelfilter mit 5 µm geführt und dann über eine Plungerpumpe (Hochdruckpumpe) auf die Membran aufgebracht. Im Modul wird das vorfiltrierte Rohwasser in die Fraktionen Permeat (Reinwasser) und Konzentrat (Schmutzwasser) geteilt. Das Permeat wird aufgefangen und zu Spül- und Reinigungszwecken zwischengelagert, das Konzentrat verworfen.

## *Zu erfassende Parameter:*

Druck P in bar:	Sandfilter, Feinfilter, vor Modul
Mengenströme in l/h:	Anströmung, Rezirkulat, Permeat, Konzentrat
Leitfähigkeit in µS:	WW 1, Puffertank, Feed, Permeat, Konzentrat



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de

# BERICHT

Blatt 11 von 50

2. Vorgehensweise und Aufgabengebiete



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

pH-Wert:	WW 1, Puffertank, Feed, Permeat, Konzentrat
Temperatur in °C:	Feed
Flux in l/(m <sup>2</sup> *h):	berechnet aus: Permeatstrom; Membranfläche
Ausbeute in %:	berechnet aus: Permeatstrom; Konzentratstrom

Weitere Einzelheiten sind im entsprechenden Versuchsbericht [3] beschrieben.

Bearbeiter: mft, M. Althaus, BfA, ecolab

## Versuche im Labor

Im Labor sollen ggf. im Feldversuch aufgetretene Probleme näher untersucht werden. Die Ergebnisse sollen zu Lösungsansätzen für die Praxis führen. Die gefundenen Lösungsansätze sind wiederum im Feldversuch auf ihre Praxistauglichkeit zu überprüfen. Die Einzelheiten zu den Laborversuchen werden in den jeweiligen Versuchsberichten beschrieben.

Bearbeiter: mft, M. Althaus, BfA, ecolab



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de



## 3 Arbeitsergebnisse

### 3.1 Konzeptentwicklung Wasseraufbereitung

Die Problemstellung der Wasseraufbereitung lässt auf Grund des vergleichsweise geringen Volumenstromes von vorneherein nur sehr kompakte Verfahren zu. Ebenso ist der Zielsetzung einer Implementierung des Kreislaufsystems in bestehende Getränkebetriebe und dem damit verbundenen eingeschränkten Platzangebot Rechnung zu tragen.

#### Verfahrensauswahl

An Hand der in 1.1 beschriebenen vielschichtigen Belastung, welche für das Spülwasser zu erwarten ist, wird deutlich, dass für die Aufbereitung ein möglichst universelles Verfahren benötigt wird. Somit scheidet Spezialverfahren, mit denen einzelne Stoffgruppen abgeschieden werden aus. Auch eine Verkettung verschiedener solcher Verfahren würde einen zu großen Aufwand bedeuten. Als universelles Aufbereitungsverfahren auch für kleine Durchsätze bietet sich daher die Membranfiltration an. Dieses Verfahren ermöglicht je nach Membrantyp auch den Rückhalt von Verunreinigungen auf molekularer Ebene.

Ein weiterer Vorteil ist der verfahrensbedingte kontinuierliche Konzentratfluss (bei Querstromfiltration), welcher der Vorweiche zugeführt werden kann. Der Literatur [1] ist hier zu entnehmen, dass für eine Aufbereitung auf Trinkwasserniveau in diesem Falle nur eine Umkehrosmose (UO) als Membranfiltration in Frage kommt. Die Verunreinigungen sind derart niedermolekular, dass selbst bei Einsatz einer Nanofiltrationsmembrane die Permeatqualität nicht ausreicht. Dies gilt sowohl für unerwünschte Ionen (hohe Leitfähigkeit des Permeats) als auch für die organische Belastung (gemessen als chemischer Sauerstoffbedarf CSB).

Aus wirtschaftlichen Gründen, um Investition und Betriebskosten so gering als möglich zu halten, wird für die Ausführung der UO das Spiral-Wickelmodul als Modulbauart vorgesehen. Dieses zeichnet sich durch seinen vergleichsweise einfachen und damit in der Herstellung günstigen Aufbau aus. Ein weiterer Vorteil ist die extrem kompakt angeordnete Membranfläche, die einen sehr geringen Platzbedarf zur Folge hat.

Abbildung 3-1 zeigt die Komponenten des Wickelmoduls.



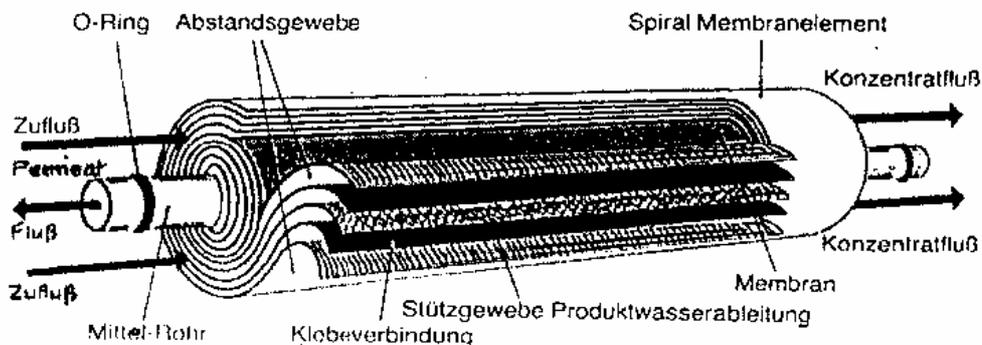


Abbildung 3-1: Prinzipieller Aufbau eines Spiral-Wickelmoduls

Der chemische Aufbau moderner UO- Membrane erlaubt zudem den Betrieb der Membranfiltration mit niedrigen transmembranen Drücken im Bereich von 10 bis 15 bar. Ältere UO- Membranen erforderten Drücke zwischen 20 und 70 bar. Dieser technologische Fortschritt hat die Wirtschaftlichkeit des gewählten Verfahrens in den letzten Jahren signifikant verbessert.

## Randbedingungen

Es sind jedoch bei der Konzeption des Verfahrens verschiedene Faktoren zu berücksichtigen, welche die Leistungsfähigkeit der UO- Filtration beeinträchtigen können:

- Die im Laugebad von FRM's eingesetzten Additive zur Schaumunterbindung setzten sich in der Regel aus nichtionischen Tensiden zusammen. Diese Stoffgruppe neigt im Allgemeinen dazu, sich an den aus Polymeren bestehenden Membranoberflächen anzulagern und somit die Filtrationsleistung deutlich zu reduzieren. In einem Feldversuch ist die Auswirkung des Entschäumers auf die Filtrationsleistung fest zu stellen.
- Diese Entschäumer besitzen darüber hinaus einen so genannten Trübungspunkt. Dabei handelt es sich um eine Temperaturgrenze, oberhalb derer die hydrophobe Eigenschaft der Substanz überwiegt, was in wässriger Umgebung zu Tropfenbildung führt. Dieses Verhalten führt nach Erfahrungen von ecolab zu extrem irreversiblen Membranverblockungen. Der Trübungspunkt liegt meist im Bereich von 30°C. Auch dieser Aspekt ist bei den Feldversuchen entsprechend zu untersuchen.
- Bei der Konzeption des Verfahrens ist die Filtrationstemperatur zu berücksichtigen. Das aus der FRM entnommene Warmwasser hat eine Temperatur im Bereich von 60°C. Da das Warmwasser ohnehin um ca. 40K heruntergekühlt





werden muss, besteht die Möglichkeit, die Filtrationstemperatur innerhalb dieses Bereichs zu wählen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine höhere Filtrationstemperatur bei entsprechend temperaturbeständigem Membranmaterial zu einer besseren Filtrationsleistung führen kann. Ziel ist also eine möglichst hohe Filtrationstemperatur. Auf der anderen Seite muss jedoch zunächst der Einfluss des o.g. Trübungspunktes des Entschäumers festgestellt werden.

- Eine Untersuchung des Warmwassers muss zeigen, welche Vorfiltration des Wassers notwendig ist, um einer mechanischen Verblockung der Wickelmodule durch Feinpartikel und Papierfasern vorzubeugen. Gegebenenfalls ist auch eine zweistufige Filtration mit Grob- und Feinfilter vorzusehen.
- Eine Belastung des Warmwassers durch sonstige, gegebenenfalls membranschädigende Chemikalien (z.B. Chloride) ist zu untersuchen und entsprechende Maßnahmen zur Eliminierung sind vorzusehen.

## Vorbehandlung

Es können verschiedene Maßnahmen getroffen werden um den o.g. Randbedingungen gerecht zu werden und das Rohwasser bedarfsgerecht zu konditionieren. Für eine detaillierte Auswahl sind jedoch die Ergebnisse entsprechender Feldversuche mit einzu beziehen.

- Die Filtrationstemperatur kann bei Bedarf unterhalb des Warmwasserniveaus gewählt werden, in dem beispielsweise ein Rekuperationsschritt vor die UO geschaltet wird, der ansonsten nur das UO- Permeat einbeziehen würde.
- Sofern der Feldversuch die Notwendigkeit einer Partikelfiltration als Vorstufe zur UO aufzeigt, so muss abhängig von der Schmutzfracht untersucht werden, welche der Alternativen ein- oder zweistufige Filtration, Gewebe und/oder Spaltsieb eingesetzt werden muss.
- Sofern das Warmwasser mit membranschädlichen Chemikalien belastet ist, so muss geprüft werden, ob die entsprechenden Substanzen entfernt, unschädlich gemacht oder im besten Fall ganz vermieden werden können.



# BERICHT

Blatt 15 von 50

3. Arbeitsergebnisse



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## Wirtschaftlichkeit

Die Tabelle 3-1 gibt eine erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der UO- Aufbereitung an Hand eines exemplarischen Beispiels wieder. Hierbei sind gegebenenfalls notwendige Vorbehandlungen des Wassers sowie Wärmerückführung und sonstiger Anlagenbau (Verrohrung, Pumpen, Behälter) nicht berücksichtigt.

Prozessparameter		
Schichtdauer	8,00	h
Schichten (Jahresmittel)	1,70	pro Tag
Arbeitstage pro Jahr	250,00	d/a
Betriebsstunden	3.400,00	pro Jahr
Rohwasser	10,00	m³/h
Recyclingfaktor	65%	
Permeatfluss	6,50	m³/h
Permeatmenge	22.100,00	m³/Jahr
Betriebskosten		
E-Leistungsbedarf	12,00	kW
Strompreis	6,00	ct/kWh
E-Kosten	2.448,00	€/Jahr
Membranmaterial	1.000,00	€/Modul
Membranbedarf	18,00	Module
Membranstandzeit	2,00	Jahre
Membrankosten	9.000,00	€/Jahr
Bedienpersonal	1.500,00	€/Jahr
Wartung/Inst.	2%	Investition/Jahr
Kosten	3.700,00	€/Jahr
Reinigungskosten		
Alkalisch	4,00	€/Liter
	800,00	Liter/Jahr
	3.200,00	€/Jahr
Sauer	3,00	€/Liter
	600,00	Liter/Jahr
	1.800,00	€/Jahr
Investition		
Anlage	185.000,00	€
Nutzungsdauer	10,00	Jahre
Kapitalzins	6%	
Annuität	24.646,55	€/Jahr
Summe, Verbrauchswerte	21.648,00	€/Jahr



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de



Kosten, Permeat	2,09 €/m <sup>3</sup>
Kosten, Wasser/Abwasser	4,00 €/m <sup>3</sup>
Einsparung pro Jahr	42.105,45 €/Jahr

Tabelle 3-1: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Umkehrosmose

## 3.2 Konzeptentwicklung Wärmerückführung

Aus dem hydraulischen Konzept des Kreislaufsystems ergeben sich die Bedingungen und Anforderungen an die Wärmerückführung:

- Der Volumenstrom des Kreislaufwassers orientiert sich am Spülwasserbedarf der Flaschenwaschmaschine, bezogen auf die einzelne Flasche. Dies sind ca. 250ml pro Flasche. Bei einer Reinigungsleistung von beispielsweise 30.000 Flaschen pro Stunde fallen demnach 7,5m<sup>3</sup>/h an. Dieser Volumenstrom wird vor allem auch zur Rückkühlung der Flaschen benötigt und ergibt sich aus Massenströmen und Wärmekapazitäten von Glasflaschen und Flaschenträgern.
- Die Temperatur des Rohwassers (WW I) liegt bei Entnahme aus der Reinigungsmaschine üblicherweise in einem Bereich von 55°C bis 65°C.
- Die Temperatur für die Rückführung des Wassers in den Reinigungsprozess ist zu bestimmen an Hand der Vorgabe 30°C für die Flaschenabgabetemperatur. Hierzu wird ein Simulationsmodell erarbeitet, welches es ermöglicht an Hand der wesentlichen Einflussparameter einen Temperaturbereich als Vorgabe für die Rückspeisetemperatur zu ermitteln.
- Der Wärmebedarf der Vorweiche durch den fehlenden Spülwasserstrom, wird ebenfalls mit dem zu erarbeitenden Simulationsmodell ermittelt. Das Temperaturniveau, auf welchem Wärme in die Vorweiche eingebracht werden kann hängt von der Anzahl an Weichebädern und Spritzungen ab. In der Regel bewegt sich die Temperatur hier zwischen 30°C (VW I) und 50°C (VW II). Für rekuperative Wärmerückführung in einem Gegenstromwärmetauscher bietet sich auch die Vorspritzung und Überschwallung an. Diese wird konventionell mit dem ablaufenden Warmwasser bei ca. 60°C betrieben. Es kann also ggf. erwärmtes Abwasser aus der kühleren Vorweiche hier eingesetzt werden.
- Um thermische Energie in das Hauptlaugebad einzubringen und damit den Wärmebedarf für das Nachheizen zu reduzieren, muss eine Temperatur von über 80°C erreicht werden. Dies kann im Zusammenhang mit der Permeatkühlung nur durch eine Wärmepumpe erreicht werden.





## Verfahrensauswahl

Für die Übertragung bzw. Umwandlung der aus dem Kreislaufwasser abzuführenden Wärme stehen drei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Die Rekuperation bietet die Möglichkeit, mit vergleichsweise geringem apparativem Aufwand, Wärmeenergie über Wärmetauscher in den Reinigungsprozess zurückzuführen. Voraussetzung hierfür ist ein Wärmebedarf auf geringerem Temperaturniveau mit einer ausreichenden Temperaturdifferenz. Daher ist das Potenzial für Rekuperation begrenzt, wenn für das Permeat Frischwassertemperatur erreicht werden soll.
- Die Wärmeabgabe an die Atmosphäre über einen Kühlturm erlaubt eine Permeatkühlung ohne Eingriff in die thermischen Verhältnisse der Flaschenwaschmaschine. Jedoch geht die abgegebene Energie für eine weitere technische Nutzung verloren und die Umgebungstemperatur bildet die Grenze für dieses Verfahren.
- Die Niveauanhebung durch eine Wärmepumpe (WP) ermöglicht die Rückführung der Wärme in das Hauptlaugebad. Weiterhin kann mit Hilfe eines Wärmepumpenprozesses die Permeattemperatur gezielt gewählt werden. Somit kann ebenfalls ohne Eingriff in die thermischen Verhältnisse der Flaschenwaschmaschine die Wärme aus dem Permeat weiter genutzt und ein Teil der für das Laugebad benötigten Heizenergie eingespart werden. Eine Wärmepumpe erfordert jedoch einen großen apparativen Aufwand, welcher neben einem hohen Investitionsvolumen auch nicht unerhebliche Betriebskosten verursacht. Hier sind in erster Linie die Stromkosten für den Betrieb des Verdichters sowie der Wartungsaufwand zu nennen.

Eine Kombination aus Rekuperation und Wärmepumpe stellt für die Wärmerückführung die beste Möglichkeit dar:

- Die Abwärme hierbei wird voll genutzt.
- Die thermischen Verhältnisse in der FRM werden ausgeglichen.
- Es ist eine vergleichsweise kleine Wärmepumpenleistung erforderlich.
- Die Permeattemperatur kann gezielt gewählt werden.

Zunächst kann das Permeat in einem Gegenstromwärmetauscher gegen Wasser aus der Vorweiche soweit als möglich gekühlt werden. Das Vorweichewasser wird dabei an der kühlfsten Stelle der Vorbehandlung entnommen (i.d.R. Vorweiche I) und nach der Erwärmung der Vorweiche II oder der Vorspritzung zugeführt.





Das vorgekühlte Permeat wird in einem Wärmepumpen-Verdampfer auf die erforderliche Temperatur weitergekühlt und kann dann wieder eingesetzt werden. Mit der Kondensatorwärme der Wärmepumpe wird ein Teil der Heizenergie für das Laugebad substituiert.

Für den vorliegenden Einsatzfall kommt hier lediglich eine Kompressionswärmepumpe in Betracht, da die Alternative Absorptionswärmepumpe auf Grund des Temperaturniveaus des Laugebades nicht sinnvoll einsetzbar ist.

## Prozesssimulation

Um das Potenzial der einzelnen Verfahren genauer zu ermitteln wurde ein Simulationsmodell erstellt. Dieses ermöglicht die Darstellung der gegenseitigen thermischen Abhängigkeiten innerhalb des Flaschenreinigungsprozesses. Das Simulationsmodell basiert auf Wärme- und Massenbilanzen der einzelnen Reinigungsschritte sowie auf Annahmen und Praxiserfahrungen zu Wärmeübergängen und Abstrahlungsverlusten.

Die Abbildung 3-2 gibt den prinzipiellen Aufbau des Modells wieder. Hierbei wird die Flaschenwaschmaschine mit ihren Reinigungsschritten durch eine dicke Linie symbolisiert. Das Kreislaufsystem ist schematisch mit ausgelagerten Prozessen dargestellt. Jeder für die Wärmebilanz relevante Stoffstrom wird als Massenstrom mit Temperatur und Wärmekapazität dargestellt.

Für die Berechnungen des Simulationsmodells wurden die in Tabelle 3-2 aufgeführten Parameter und Randbedingungen berücksichtigt und können der jeweiligen Situation individuell angepasst werden.

Konvektive Wärmeübergänge innerhalb der Maschine und Abstrahlungsverluste (Parameter P12, P13, P19, P20, P21) sind messtechnisch nur mit großem Aufwand zu erfassen und wurden daher anhand von Wärmebilanzen mit an der realen Flaschenreinigungsmaschine gemessenen Temperaturen und Stoffströmen abgeschätzt.



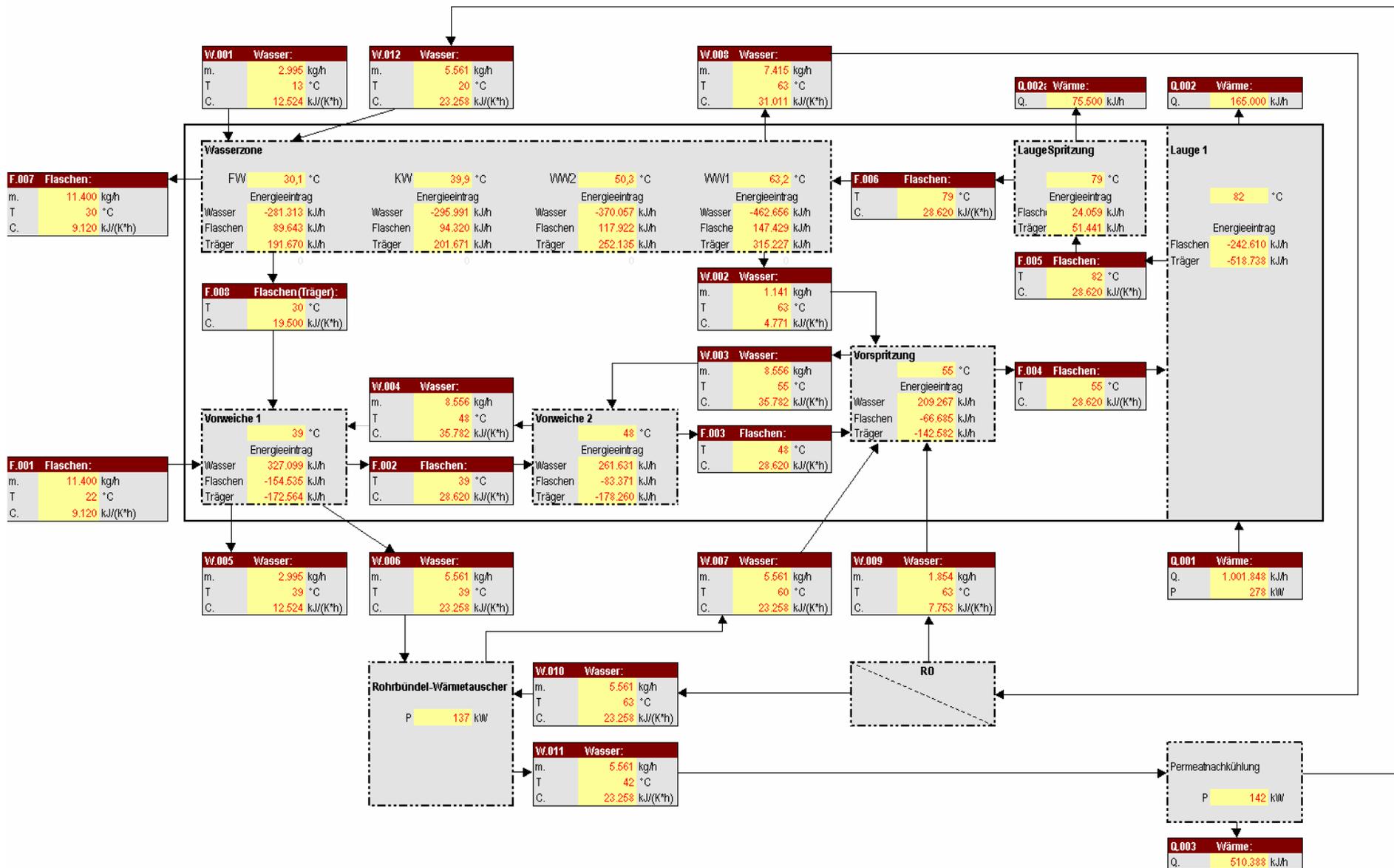


Abbildung 3-2: Aufbau des Simulationsmodells (Beispielrechnung)



Parameter, Randbedingungen:		
P01 c, Wasser	4,18	kJ/(kg*K)
P02 T, Frischwasser	13,00	°C
P03 Dichte, Wasser	0,000998	kg/ml
P04 c, Flaschen	0,80	kJ/(kg*K)
P05 m, Flaschen	0,38	kg/Flasche
P06 T, Leergut ein	22,00	°C
P07 c, Fl.-Träger	0,65	kJ/(K*Flasche)
P08 T, Leergut aus	30,00	°C
P09 Permeatfaktor	65%	
P10 V, Spülwasser	285,71	ml/Flasche
P11 T, Lauge 1	82,00	°C
P12 Q.-Verlust, Lauge 1	165.000	kJ/h *)
P13 Q.-Verlust, Lauge 2	75.500	kJ/h *)
P14 Ausbeute, RO	75%	(min. P-Faktor)
P15 T, Permeatrücklauf	20,00	°C
P16 delta T min. WT(w)	3,00	K
P17 delta T min. WT(k)	3,00	K
P18 Flaschendurchsatz	30.000	Flaschen/h
Wärmeeintrag aus Lauge:		
P19 nach FW	28,00	kJ/l *)
P20 nach Permeat	15,00	kJ/l **)
P21 nach KW	6,50	kJ/l *)

\*) Schätzung auf Grund der Aufnahme und der Herstellerdaten

\*\*\*) Interpolation

**Tabelle 3-2:** Parameter und Randbedingungen für das Simulationsmodell

Für die Berechnungen mit dem Simulationsmodell wurden zunächst die Betriebsdaten der Flaschenreinigungsmaschine der Martini-Brauerei in Kassel unterstellt (siehe Tabelle 3-2), da an dieser Maschine auch die Feldversuche durchgeführt werden. Die betrachtete Maschine verfügt über die übliche technische Ausstattung moderner FRM's und ist für den mittleren Leistungsbereich ausgelegt. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die mit diesen Daten ermittelten Ergebnisse auf einen großen Teil des FRM- Bestandes (zumindest in groben Zügen) übertragen werden können. Die Feinanpassung des Recyclingsystems muss jedoch für jeden Maschinentyp individuell durchgeführt werden.



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de



Weiterhin wurde nach Angaben von mft die Ausbeute der Umkehrosmoseanlage mit 75% angenommen und der Recyclingfaktor des gesamten Systems mit 65%. Das bedeutet, es wird ein Teil des Spülwasserstromes nicht dem Kreislaufsystem zugeführt, sondern weiterhin direkt für die Vorspülung der Flaschen (vor dem Laugebad) eingesetzt wird. Es kann somit das Wasser mit der höchsten Belastung für die Aufbereitung vermieden werden. Dies führt zu einer geringeren Wassereinsparung aber auch zu einer kleineren Dimensionierung des Kreislaufsystems und damit zu einem geringeren Investitionsbedarf. Der Effekt dieser Maßnahme sowie die genaue Rate ist mit einer Pilotanlage zu erproben.

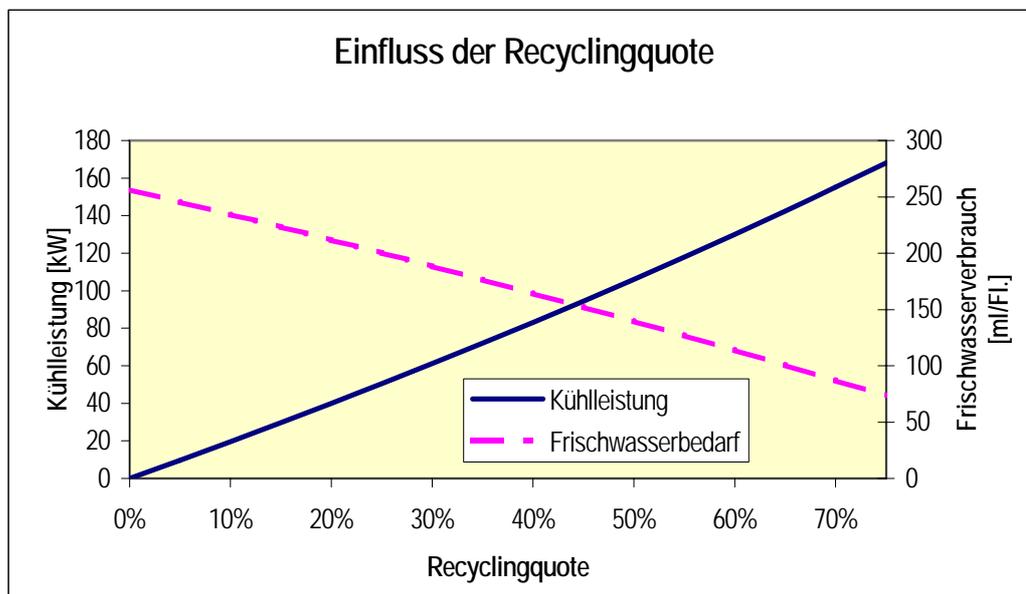


Abbildung 3-3: Einfluss der Recyclingquote auf Frischwasserverbrauch und WP-Kühlleistung

Mit dem Simulationsmodell kann hierzu der Frischwasserverbrauch und die erforderliche Wärmepumpen-Kühlleistung ermittelt werden. Der Frischwasserverbrauch errechnet sich unter anderem in Abhängigkeit einer vorgegebenen Flaschenabgabetemperatur. In der Abbildung 3-3 wird dies für eine Flaschenabgabetemperatur von 30°C und eine Permeat- Rückführtemperatur von 20°C exemplarisch über den gesamten Bereich bis 75% durchgeführt.

Auch die Leerguttemperatur, welche witterungsbedingt deutlichen Schwankungen unterliegt, hat Einfluss auf die Wärmerückführung. Kommen die Flaschen kälter an der





Maschine an, so stellen sich niedrigere Temperaturen in den Vorweichebecken ein, was wiederum das Potenzial für rekuperative Wärmerückführung vergrößert.

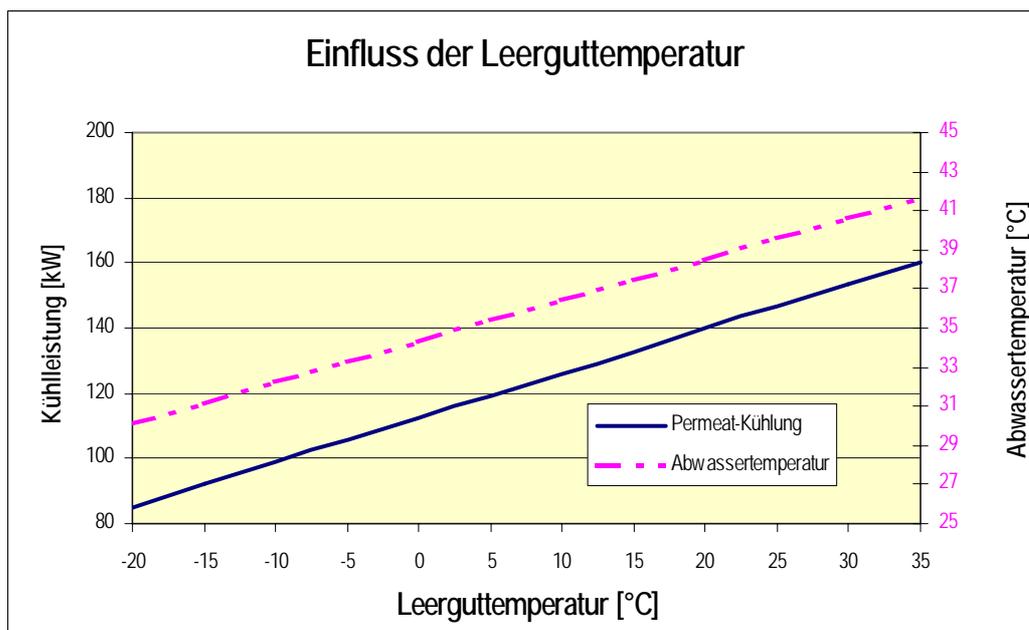
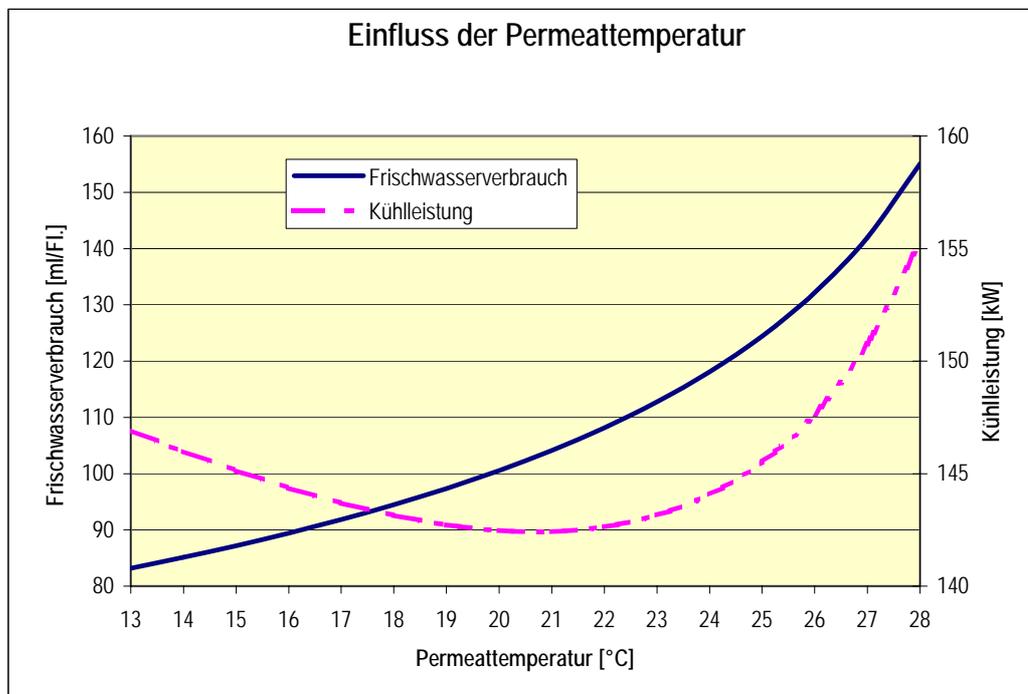


Abbildung 3-4: Einfluss der Leerguttemperatur auf Abwassertemperatur und WP-Kühlleistung

Der Schwankungsbereich für die in Abhängigkeit der Rekuperation erforderliche Kühlleistung der Wärmepumpe wird in Abbildung 3-4 dargestellt. Bei der endgültigen Auslegung der Wärmepumpenleistung wird jedoch berücksichtigt, dass die Wärmespitzen des Leerguts im Sommer in der Regel nur kurzzeitig auftreten. Diese können auch durch einen temporär erhöhten Frischwassereinsatz aufgefangen werden. Als Auslegungsgrundlage dient somit eine Leerguttemperatur von 20°C.

Um die optimale Permeat -Rückführtemperatur zu ermitteln wird mit dem Simulationsmodell der Frischwasserbedarf und wiederum die WP-Kühlleistung ermittelt.





**Abbildung 3-5:** Einfluss der Permeat- Rückführtemperatur auf Frischwasserverbrauch und WP-Kühlleistung

Das Ergebnis der Simulation zeigt, wie in Abbildung 3-5 dargestellt, dass die erforderliche WP-Kühlleistung für eine Permeat- Rückführtemperatur im Bereich um 21°C am geringsten ist. Dies wird durch einen unproportional höheren Permeat- Volumenstrom bei höherer Rückführtemperatur verursacht. Da der Recyclingfaktor konstant gehalten wird (65% im Diagramm), erhöht sich mit dem Frischwasserbedarf auch der Permeat- Volumenstrom für die geforderte Flaschenabgabetemperatur.

Bei höherer Recyclingquote nimmt die Kühlleistung im oberen Temperaturbereich stark und unproportional zu, da hier wegen des größeren Permeatanteils auch der Einfluss der Permeattemperatur auf den Frischwasserverbrauch deutlich größer ist. Die

**Abbildung 3-6** zeigt auch, dass bei steigender Recyclingquote das Optimum für die Permeat- Rückführtemperatur sinkt, was auf den selben Effekt zurückzuführen ist.



# BERICHT

Blatt 24 von 50

3. Arbeitsergebnisse



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

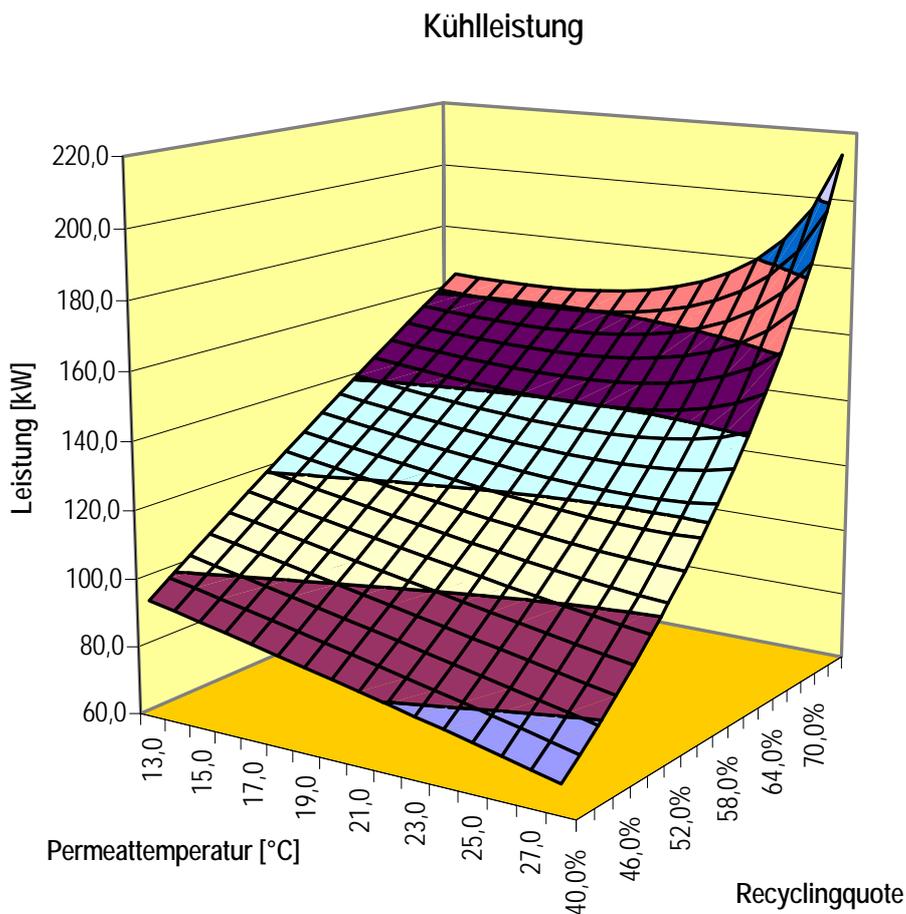


Abbildung 3-6: Einfluss von Permeat- Rückführtemperatur und Recyclingquote auf die WP-Kühlleistung



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de



## Wirtschaftlichkeit

Die Tabelle 3-3 gibt eine erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmepumpe wieder. Hierbei ist der sonstige Anlagenbau (Verrohrung, Pumpen, Behälter) nicht berücksichtigt.

Prozessparameter		
Schichtdauer	8,00	h
Schichten (Jahresmittel)	1,70	pro Tag
Arbeitstage pro Jahr	250,00	d/a
Betriebsstunden	3.400,00	pro Jahr
Rohwasser	10,00	m³/h
Recyclingfaktor	65%	
Permeatfluss	6,50	m³/h
Permeatmenge	22.100,00	m³/Jahr
Betriebskosten		
Preis, Erdgas	2,70	ct/kWh, Ho
Ho/Hu	0,90	-
η, Kessel	0,90	-
Betriebskosten, Kessel	1,00	ct/kWh
Dampfkosten	4,33	ct/kWh
Stromkosten	6,00	ct/kWh
Temperaturdifferenz	20	K
Kälteleistung	150	kW
Leistungszahl, Kälte	1,8	
Verdichterleistung	83	kW
Dampfsubstitution	792.496	kWh/Jahr
E-Kosten	16.982,07	€/Jahr
Bedienpersonal	1.500,00	€/Jahr
Wartung/Inst.	3%	Investition/Jahr
Kosten	3.750,00	€/Jahr
Investition		
Anlage	125.000,00	€
Nutzungsdauer	10,00	Jahre
Kapitalzins	6%	
Annuität	16.653,08	€/Jahr
<b>Summe, Verbrauchswerte</b>	<b>22.232,07</b>	<b>€/Jahr</b>
Kosten, Wärme	4,91	ct/kWh
Kosten, Dampf	4,33	ct/kWh
Einsparung pro Jahr	- 4.543,63	€/Jahr

Tabelle 3-3: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmepumpe





## 3.3 Gesamtkonzept

Das Kreislaufkonzept gliedert sich in die Schritte Wasseraufbereitung, rekuperative Wärmerückführung und Permeatkühlung über Wärmepumpe. Die geplante Verschaltung ist im Verfahrensfliessbild in Abbildung 3-7 wiedergegeben:

- Das Rohwasser wird mit einer Pumpe der Warmwasserzone I entnommen und nach der Vorfiltration in einem Vorlagegefäß gepuffert, um von Betriebsunterbrechungen der FRM zu entkoppeln.
- Die Hochdruckpumpe der UO baut den erforderlichen Druck für die Membranfiltration auf, die Zirkulationspumpe sorgt für einen Kreislauf des Rohwassers über die Membranmodule. Durch ein Stellventil kann der Anteil des aus dem Kreislauf entnommenen Konzentrats eingestellt werden.
- Das Permeat wird in einem Wärmetauscher im Gegenstrom zu Vorweichwasser gekühlt und mit einer Wärmepumpe auf die gewünschte Temperatur für den Wiedereinsatz gebracht.
- Vor dem Wiedereinsatz wird das Permeat in einem geschlossenen drucklosen Behälter gepuffert, der gegen Verkeimung mit einem Sterilfilter für die Atmung ausgerüstet ist. Eine Pumpe baut nach dem Behälter den erforderlichen Druck für die Beaufschlagung der Spritzbalken der FRM auf.
- Das für die Permeatkühlung entnommene Vorweichwasser wird der Vorweiche I entnommen, vor dem Wärmetauscher mit einem Grobfilter gereinigt und nachher zusammen mit dem Konzentrat in einem Behälter gepuffert.
- Das gepufferte Konzentrat und Vorweichwasser wird mit einer Pumpe auf den erforderlichen Druck für die Beaufschlagung der Vorspritzung gebracht.

Der Feldversuch muss hierbei zeigen, ob es auf Grund des Trübungspunktes notwendig ist, die Membranfiltration zwischen oder nach den Wärmerückführungsschritten durchzuführen. Dies würde eine geringere Filtrationstemperatur unterhalb des Trübungspunktes ergeben. Da in diesem Fall der Rohwasserstrom gekühlt werden muss, ist jedoch die Wärmerückführleistung deutlich größer und die Konzentrattemperatur geringer.







## Wirtschaftlichkeit

Bei Berücksichtigung der Komponenten des Anlagenbaus ergibt sich für den betrachteten Leistungsbereich ein jährliches Einsparpotenzial ca. 30.000 €, gemessen an den derzeitigen Energie- und Wasserkosten:

Einsparpotenziale		
Einsparung, Wasser	42.105,45	€/Jahr
Einsparung, Energie	- 4.543,63	€/Jahr
Investition		
Rohrbündelwärmetauscher	5.000,00	€
Pufferbehälter (3 Stk.)	10.000,00	€
Kreiselpumpen (4 Stk.)	10.000,00	€
Schmutzfilter (2 Stk.)	8.000,00	€
Rohrleitungsverlegung	20.000,00	€
Summe	53.000,00	€
Nutzungsdauer	10,00	Jahre
Kapitalzins	6%	
Annuität	7.060,90	€/Jahr
Gesamteinsparung pro Jahr	30.500,91	€/Jahr

Tabelle 3-4: Gesamteinsparpotenzial

## 3.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Im Zusammenhang mit den Anforderungen der Anlagenbetreiber stehen die rechtlichen Grundlagen als weiterer Bestandteil der Rahmenbedingungen für die Umsetzung beziehungsweise Implementierung einer neuen Technologie. Im folgenden wird das WESSY- Konzept mit den tangierenden Regelungen sowie den Anforderungen der Betreiber abgeglichen. Von Belang sind:

- Lebensmittelhygienische Verordnungen, soweit ein Produktkontakt (Spülen, Haftwasser) entsteht.
- gesetzliche Regelungen zur Abwassersituation im Getränkebetrieb





## Lebensmittelhygienische Situation

Da das letzte Spülmedium als Haftwasser direkt oder in Form von Verdunstungsrückständen mit dem Produkt in Berührung kommt, fällt es in den Geltungsbereich einschlägiger Verordnungen über die Lebensmittelproduktion. Für das Kreislaufwasser ist dies von Bedeutung, da es direkt vor der letzten Frischwasserspülung, oder ggf., bei ausreichender Qualität, auch an Stelle dieser eingesetzt werden soll. Es ist durch Verschleppung also in jedem Fall mit Produktkontakt in mehr oder weniger verdünnter Form zu rechnen.

Folgende lebensmittelhygienische Regelungen sind relevant:

- Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (LMBG)
- Lebensmittelhygiene-Verordnung (LMHV)
- Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (TVO)

Das LMBG lässt in § 11, Abs. 2 Nr. 2 demineralisiertes Wasser ausdrücklich als Zusatzstoff bei der Lebensmittelproduktion zu. Wenn demnach mineralarmes UO-Wasser über Verschleppung mit dem Getränk in Berührung kommt, so ist dies an sich zulässig. In der LMHV werden in § 3 Satz 2, Nr. 2 i.V.m. Kapitel 5, Nr. 6 der Anlage die Einhaltung allgemeiner Hygieneanforderungen für Lagerung und Transport von Lebensmitteln vorgeschrieben, um der Gefahr einer nachteiligen Beeinflussung entgegen zu wirken. Dies geschieht durch das Vermeiden bzw. Entfernen von die Genussauglichkeit beeinträchtigenden Verunreinigungen in den Flaschen (Bedarfsgegenständen) entsprechend § 30 LMGB.

Zum Reinigen der Flaschen schreibt die TVO in § 2 Satz 1 i.V.m. § 3 Nr. 1b) die Verwendung von Wasser vor, welches ungeachtet seiner Herkunft auf Grund seiner Beschaffenheit für den menschlichen Gebrauch geeignet ist. Die Anforderungen hierfür werden in den §§ 5-7 i.V.m. den Anlagen 1-3 spezifiziert. Nach § 10 TVO kann ggf. eine Ausnahme hiervon beantragt werden, sofern eine Schädigung der menschlichen Gesundheit nicht zu besorgen ist.

## Abwassersituation

Folgende Regelungen bestehen zur Abwassersituation:

- Wasserhaushaltsgesetz i.V.m. entsprechenden Ländergesetzen
- Abwasserabgabengesetz (Direkteinleiter) oder Gebührenordnung des zuständigen Klärwerks (Indirekteinleiter)



Durch die Verringerung des hydraulischen Durchsatzes besteht in der Regel keine Notwendigkeit für Umrüstungen am Entwässerungssystem. Weiterhin hat ein Einsatz des WESSY- Konzeptes keinen Einfluss auf die Belastung des Abwassers in Form der Schmutzfracht. Die durch das Abwasser verursachten Kosten korrelieren jedoch in der Regel hauptsächlich mit der Schmutzfracht und höchstens in untergeordneter Weise mit der hydraulischen Menge. Bei indirekt einleitenden Betrieben über die nach Einwohnergleichwerten berechneten Gebühren an das öffentliche Klärwerk. Bei direkt einleitenden Betrieben über die Kosten für die Aufbereitung des Wassers zur Einhaltung der Einleitanforderungen.

Der Einfluss von WESSY auf die betriebliche Abwassersituation, anhand des Beispiels einer Brauerei gestaltet sich daher wie folgt:

Das hydraulische Abwasseraufkommen verringert sich von durchschnittlich  $0,5 \text{ m}^3/\text{hl}_{\text{Verkaufsbier}}$  (Petersen, Tab. 139 [10]) um ca. 40% auf ungefähr  $0,3 \text{ m}^3/\text{hl}_{\text{Verkaufsbier}}$ . Dies bei gleichbleibender Schmutzfracht. Die Bilder Abbildung 3-8 bis Abbildung 3-10 zeigen anhand von Beispieldaten (Petersen, Tab. 137 [10]) die Verteilung des Abwasseraufkommens auf die einzelnen Produktionsschritte. Die Daten haben exemplarischen Charakter und können in den einzelnen Betrieben deutlich abweichen.

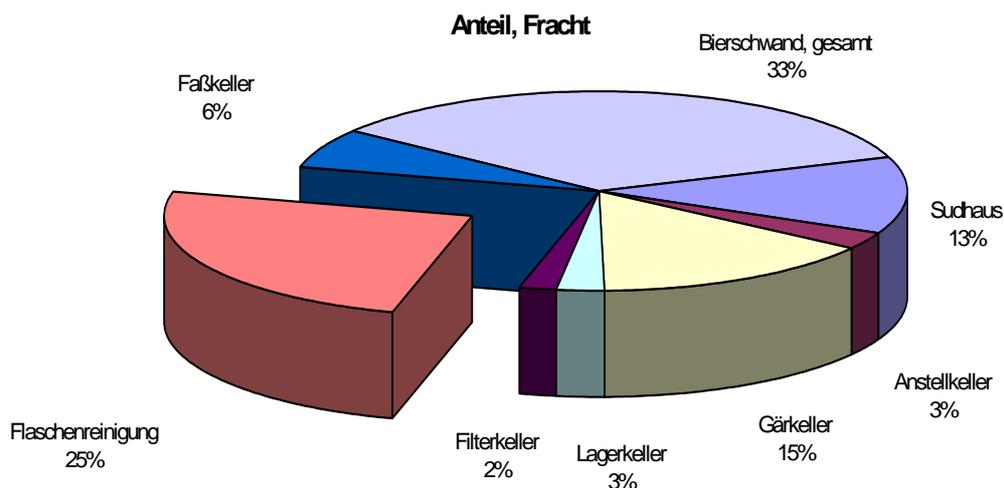


Abbildung 3-8: Aufteilung des Schmutzfrachtaufkommens BSB5



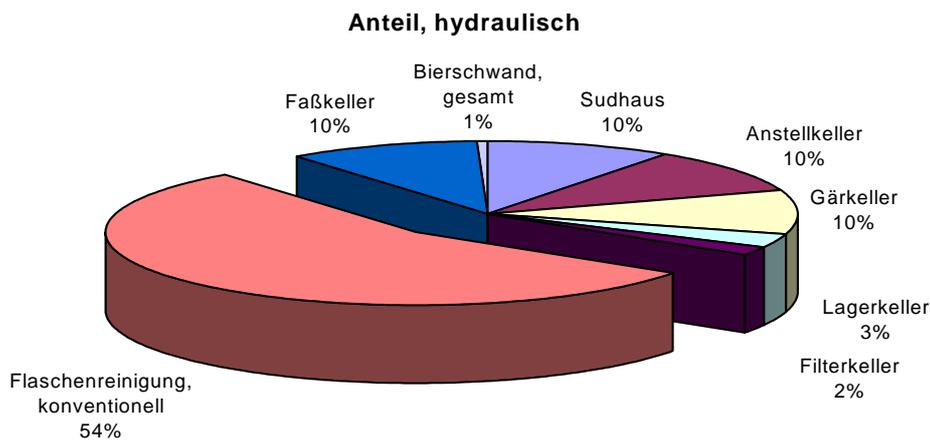


Abbildung 3-9: Hydraulische Aufteilung des Abwasseraufkommens bei konventioneller Flaschenreinigung

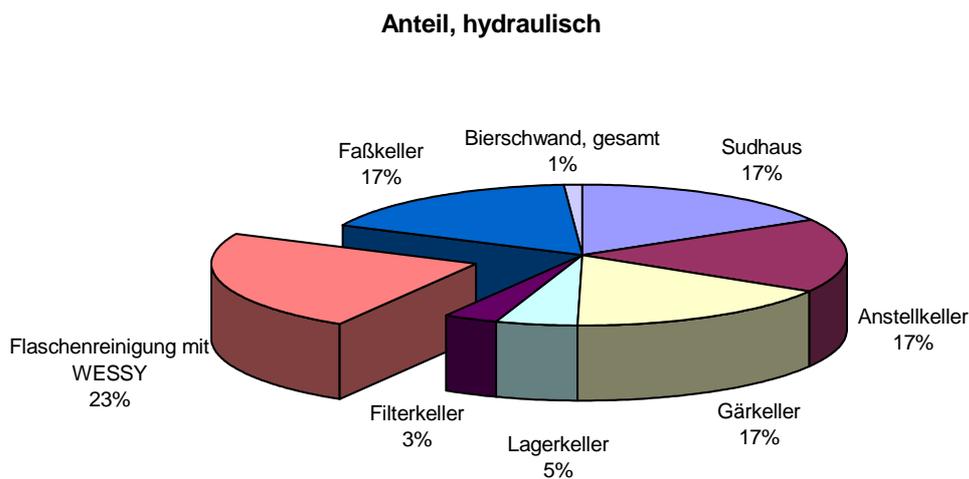


Abbildung 3-10: Hydraulische Aufteilung des Abwasseraufkommens bei Flaschenreinigung mit WESSY





## 3.5 Vorversuche zur Machbarkeitsuntersuchung

Um die Praxistauglichkeit des gewählten Verfahrens zu erproben, wurde zunächst ein Feldversuch durchgeführt. Hierfür war ein geeigneter Versuchsstandort auszuwählen. Die Martini-Brauerei in Kassel hat sich freundlicherweise bereit erklärt, die Durchführung der Versuche zu unterstützen. Die Brauerei betreibt eine Flaschenreinigungsmaschine mit 30.000 Fl./h Nominalleistung. In der Praxis wird die Anlage mit einer Leistung von 18.000 Fl./h zur Reinigung von Glas-Mehrwegflaschen (0,5l-NRW) eingesetzt. Die Maschine ist mit Restentleerung, zwei Vorweichebädern sowie den gängigen Spülzonen nach der Laugebehandlung ausgestattet. Der Frischwasserbedarf liegt derzeit bei gemessenen 258ml/Fl.

Die Flaschenreinigungsmaschine wurde vorbereitend für den Feldversuch auf die von ecolab empfohlene Reinigungschemikalienkombination umgestellt. Hierzu wurde das vorhandene Hauptlaugebad verworfen und die Maschine zwei Wochen lang mit der geänderten Chemikalienausstattung eingefahren.

### Feldversuch I: Membrantyp SU 710 der Firma Toray (entsprechend 2.3)

#### 1. Ermittlung der Reisezeit

Der Versuch hat gezeigt, dass die Reisezeit der Membran, die mit einer Zielvorgabe von 1 Woche, d.h. mindestens 40 h nicht erreicht wurde. Die Reisezeiten der Membran betragen nur jeweils wenige Stunden bis zu einer erforderlichen Reinigung. Die Zielvorgabe lag bei einer Reisezeit von 40 h. Es muss nunmehr abgeklärt werden, welche der Substanzen (Reiniger und / oder Additive) die Verblockung bewirkt.

#### 2. Chemische Kompatibilität der Membrane

Aussagen über die Ursache der Verblockung können erst nach einer Analyse der eingesetzten Membran erfolgen. Bezüglich des Membranverhaltens hinsichtlich der Temperatur kann gesagt werden, dass die Membran eine optimale Arbeitstemperatur in einem Temperaturbereich von 48 – 53 °C aufweist. Aus dieser Sicht heraus ist die Membran für den Einsatzzweck geeignet. Siehe auch Berichte der Firmen Ecolab [4] und MFT [5].





## 3. Mikrobiologische Qualität

Während des Versuchslaufs wurden jeweils 2 Proben Permeat gezogen und mikrobiologisch im Labor der Brauerei untersucht. Die auf NBB – Agar ausgebrachte Probe zeigte keinerlei Wachstum, die auf Wasserbakterien untersuchte Probe zeigte eine minimale Verkeimung mit nicht bierschädlichen Bakterien. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Probenahme nicht unter absolut sterilen Bedingungen stattfand und die Anlage vorher mit normalem Betriebswasser abgespült wurde. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Membran hinsichtlich der mikrobiologischen Absecheidung das Ziel erreicht hat.

Das Ergebnis dieses Versuchs ist nicht zufrieden stellend ausgefallen. Die unzureichende Reisezeit und vor allem die mangelnde Abreinigungsfähigkeit lassen einen Praxiseinsatz in dieser Konstellation nicht zu. Es werden daher Laborversuche durchgeführt, um erstens die Ursache der Inkompatibilität zwischen Membrane und aufzubereitendem Medium zu determinieren. Zweitens muss im Labor eine Lösung für das Problem gefunden werden.

### Laborversuch I: Membran ESPA 3 der Firma Hydronautics

Ecolab hat zu der Problemstellung bereits in der Vergangenheit Testreihen im Labor durchgeführt. Als Hauptverursacher für die unzureichende Membranleistung wird der im Laugebad eingesetzte Entschäumer vermutet. Dieser besteht aus nichtionischen Tensiden, welche in vielen Fällen eine starke Affinität zu der aus Polyamid bestehenden Membranoberfläche aufweisen. Diese Anlagerung der Tenside führt zu einer Verblockung der Membranporen und somit zu einer Verminderung der Membranleistung. Wenn sich die angelagerten Tenside durch Reinigen nicht wieder entfernen lassen, ist dies von besonderem Nachteil für den Prozess.

Ziel des Versuchs ist es, festzustellen ob der eingesetzte Entschäumer die beschriebene Affinität zu der Umkehrosomosemembran zeigt. Hierfür wird ein Ansatz von 0,01% des Entschäumers in Wasser mit einer Testmembran (ESPA 3 der Firma Hydronautics, vergleichbarer Membrantyp zu Technikumsversuch I) filtriert. Die Filterleistung wird gemessen und es werden verschiedene Membranreinigungen durchgeführt mit anschließender Feststellung des Einflusses auf die Filterleistung. Die Einzelheiten sind im Versuchsprotokoll von ecolab [4] enthalten.

Die Versuche wurden mit den Entschäumerprodukten P3-prevafoam PB, P3-prevafoam MC und P3-prevafoam DUO der Firma ecolab durchgeführt und zeigten, dass keines der Produkte sich in ausreichender Weise von der Membrane wieder abreinigen lässt.





Somit sind diese Entschäumer für den Einsatz diesen Membrantyps ungeeignet. Weitere Laborversuche müssen daher Aufschluss darüber geben, welcher Entschäumer in Verbindung mit welchem Membrantyp ein gutes Filtrationsverhalten sowie eine gute Abreinigungsfähigkeit zeigt.

## Laborversuch II: Membran ESPA 1 der Firma Hydronautics

Analog zu den Versuchen bei ecolab werden Entschäumer verschiedener Hersteller auf einer Membrane getestet. Dies wird von der Firma mft durchgeführt. Als Vergleichsprodukt wird ein Entschäumer der Firma WIGOL (Typ ES C50), Worms sowie der Firma Dr. Weigert (Typ Karafol K17), Hamburg gewählt. Die Laborversuche werden mit der Membrane ESPA 1 durchgeführt, die sich von dem im ersten Laborversuch eingesetzten Typ 3 lediglich durch seine Filtrationscharakteristik unterscheidet, nicht durch chemische Beschaffenheit der Oberfläche. Zum Abkürzen des Zeitbedarfs für die Versuche wird ein höher konzentrierter Entschäumeransatz von 0,05% gewählt.

Wie den entsprechenden Versuchsberichten [6], [7] zu entnehmen ist, zeigen auch die Entschäumer von WIGOL und Dr. Weigert keine ausreichende Abreinigungsfähigkeit und sind für den vorgesehenen Einsatzzweck nicht geeignet.

Die Ergebnisse aus den Laborversuchen I und II lassen darauf schließen, dass der verwendete Membrantyp (Niederdruckmembrane nach dem Stand der Technik), sich nicht mit den marktüblichen Entschäumern verträgt. Es ist mit irreversiblen Verlockungen der Membrane zu rechnen. Im nächsten Schritt wird daher ein anderer Membrantyp auf seine Entschäumerverträglichkeit untersucht. Die Wahl fällt nach Empfehlung von ecolab auf eine Hochdruckmembrane der Firma DESAL. Dieser Membrantyp wurde vor rund 10 Jahren bereits entwickelt und erfordert durch seine hohe transmembrane Druckdifferenz mehr Energieeinsatz als modere Membrantypen. Jedoch weist er nach Erfahrungen von ecolab eine deutlich bessere Entschäumerverträglichkeit auf als andere Umkehrosmose-Membranen.

## Laborversuch III: Membran DURASLICK 4040 der Firma DESAL

Dieser Versuch wird von mft analog zu Laborversuch II durchgeführt. Untersucht werden die Entschäumerprodukte P3-prevafoam PB und P3-prevafoam MC von ecolab. Die Ergebnisse (siehe auch entsprechende Versuchsberichte [8], [9]) des Versuchs zeigen eine signifikante Verbesserung der Abreinigbarkeit der Membrane im Vergleich zu den vorangegangenen Versuchen.





Dies äußert sich durch eine Gesamtreduktion des Initial-Wasserwertes (bei Beaufschlagung der neuen Membrane mit Leitungswasser) um ca. 15-20% gegenüber 60-70% bei vorangegangenen Versuchen. Diese Versuchsergebnisse zeigen eine mögliche Eignung der gewählten Membrane für die Aufbereitung von Medien, welche mit dem Entschäumer P3-Prevafoam MC belastet sind. Dies ist in einem weiteren Feldversuch zu verifizieren.

## Feldversuch II: Membrantyp DURASLICK 4040 der Firma DESAL

Analog zu Feldversuch I wird mit der in Laborversuch III erprobten Kombination aus Membran und Entschäumer ein Versuch an der Flaschenreinigungsmaschine der Martini-Brauerei durchgeführt. Wie beim ersten Feldversuch wird zunächst das Laugebad getauscht und die Maschine zwei Wochen lang mit der entsprechenden Chemikalienausstattung eingefahren.

Der Versuch konnte zunächst mit einem fabrikneuen Membranmodul bei einem Betriebsdruckniveau von 20 bar gestartet werden. Auf Grund eines technischen Defektes an der Versuchsanlage ist das Membranmodul jedoch nach ca. 15 Stunden Betriebszeit zerstört worden. Wegen der langen Lieferzeiten für diesen Membrantyp musste der Versuch daraufhin mit dem bereits in Laborversuch III eingesetzten Modul fortgeführt werden.

Dieses war neben dem Entschäumertyp MC ebenfalls mit dem weniger verträglichen Entschäumertyp PB beaufschlagt worden und wies daher eine deutliche Vorbelastung auf. Der Feldversuch konnte dennoch mit diesem Modul, jedoch auf einem höheren Druckniveau durchgeführt werden. Als Kriterium für die Verblockung wird ein Betriebsdruck von 50 bar festgelegt.

Das Modul wurde im Versuchsverlauf insgesamt sechs mal gereinigt und der Reinigungserfolg als Verbesserung des Betriebsdruckes bei konstantem Permeatstrom dokumentiert. Ebenfalls wurde zwischen den Reinigungen die Reisezeit festgehalten. Hierbei ist zu bemerken, dass ein Reinigungsversuch (Nr. 3) keinen Reinigungserfolg erbrachte. Die Reinigung wurde daraufhin wiederholt (Nr. 4) und war erfolgreich.



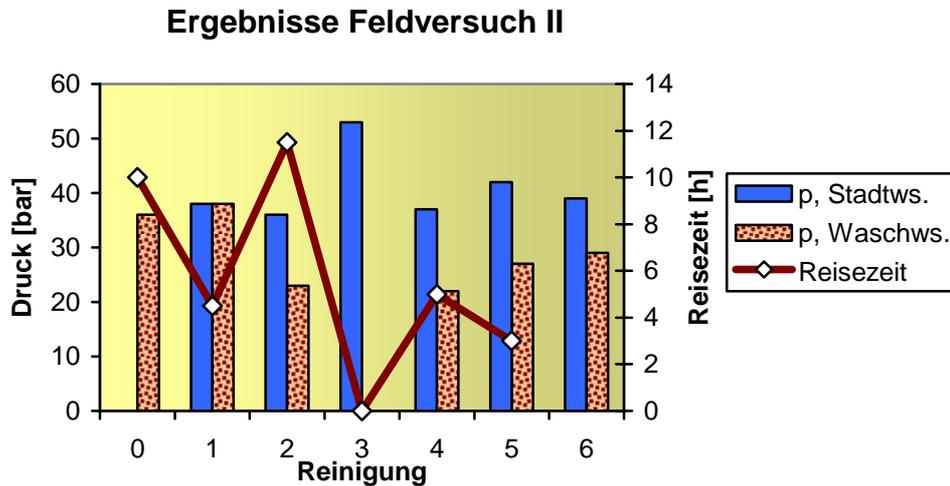


Abbildung 3-11: Reinigungsergebnisse aus dem Feldversuch II

Der Versuchsbericht der BfA [10] legt die Versuchsergebnisse in tabellarischer Form dar. In der Abbildung 3-11 ist der nach der jeweiligen Reinigung gemessene Betriebsdruck für Stadtwater und für Warmwater I sowie die daraufhin ermittelte Reisezeit dargestellt.

Die im Rahmen des Versuchs durchgeföhrt chemischen Analysen nach TVO ergaben keine Grenzwertüberschreitungen. Die mikrobiologische Untersuchung zeigte jedoch im Gegensatz zu Feldversuch I ein deutliches Wachstum Bier schädigender Mikro-Organismen.



# BERICHT

Blatt 37 von 50

4. Auswertung und Diskussion



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 4 Auswertung und Diskussion

### 4.1 Verfahren zur Wasseraufbereitung

Die Umkehrosmose als physikalisches Verfahren stellt zweifellos das beste Verfahren zur Wasserreinigung in Bezug auf den Umweltschutz dar. Darüber hinaus ist es gegenüber den konventionellen Verfahren (Destillation, Ionenaustausch, Elektrolyse usw.) wirtschaftlicher.

Als Kern der Wasseraufbereitung wurde damit ein Verfahren gewählt, das sehr kompakt und universell einsetzbar ist. Es liegt nach langjähriger Weiterentwicklung und vielfachem Praxiseinsatz eine ausgereifte Technologie vor, welche gut zu handhaben und in ihrer heutigen Form weitgehend optimiert ist. Die Vorbehandlung kann durch eine Partikelfiltration erfolgen.

Zum Einsatz werden Spiral-Wickelmodule kommen. Der Vorteil von Wickelmodulen gegenüber Hohlfasermodule ist eine geringere Neigung zu mechanischer Verblockung sowie bessere Reinigungsmöglichkeiten. Gegenüber Kissenmodulen können Wickelmodule durch ihren einfachen und dennoch extrem kompakten Aufbau deutliche Vorteile im Bezug auf Herstellkosten und Platzbedarf vorweisen.

Nachteil der Umkehrosmose als Membranfiltration ist eine deutliche Neigung zu irreversiblen Belegung der Oberfläche bei einer Beaufschlagung mit nicht ionischen Tensiden wie beispielsweise schaumhemmender Chemikalien bei der Flaschenreinigung.

Erfahrungen von ecolab haben gezeigt, dass diese Belegung dann besonders stark ist, wenn der Entschäumer oberhalb des Trübungspunktes vorliegt (s. Kapitel 3.1). In den Versuchen zu Phase I sind die Praxistauglichkeit sowie die Verfahrensbedingungen einer Umkehrosmose in Hinblick auf diese Problemstellung untersucht worden.

Im Bereich der Wasseraufbereitung und damit der Wassereinsparung liegt wie erwartet das größte Einsparpotenzial für den Betreiber. Die Kosten für das gewonnene Permeat liegen bei Berücksichtigung der Investition für die Membrananlage in einer Größenordnung von 2 €/m<sup>3</sup>. Die Auslastung der Anlage wurde hierbei recht konservativ mit nur 3.400 Betriebsstunden pro Jahr angenommen.

Der Frischwassereinsatz für die Flaschenreinigung liegt bei Betrieben mittlerer Größe bei 20.000 bis 40.000 m<sup>3</sup> pro Jahr. Mit einer Recyclingquote von 65% können demnach Einsparungen von 25.000€ bis 50.000€ pro Jahr erzielt werden.



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de



## Auswirkungen auf die Umwelt

Den mit dem Verfahren beabsichtigten Einsparungen an Frisch- und Abwasser im Bereich von 60 bis 70% steht naturgemäß ein gewisser Verbrauch an Ressourcen gegenüber. An Hand der Daten, die sich aus der Konzeptentwicklung ergeben, wurden die Verbrauchswerte für eine UO- Aufbereitung an einer FRM für 40.000 Fl./h (Spülwassereinsatz:  $\sim 10\text{m}^3/\text{h}$ ) abgeschätzt:

- El. Leistungsbedarf: 12kW el. (v. a. f. Hochdruckpumpe)
- Membranmaterial: 18 Wickelmodule, Standzeit  $\sim 2$  Jahre
  - Die Module bestehen aus verschiedenen Polymer-Kunststoffen, sind jedoch PVC- frei; es besteht kein Entsorgungsproblem.
- Chemikalieneinsatz: saure und alkalische Reinigungschemikalien
  - ca. 800 Liter/Jahr alkalischer Reiniger, ca. 600 Liter/Jahr saurer Reiniger. Es handelt sich bei den Reinigern um anorganische wässrige Lösungen, die bei entsprechender Verdünnung keine Störung der Abbauprodukte biologischer Kläranlagen verursachen und daher gefahrlos über die öffentliche Kanalisation entsorgt werden können.

## 4.2 Wärmerückführung in den Reinigungsprozess

Der Wärmepumpenprozess ist das Kernstück der Wärmerückführung und wird durch die rekuperative Vorkühlung ergänzt. Auch dieser Prozess ist bereits vielfach in der Praxis erprobt und eingesetzt und kann als ausgereifte Technologie bezeichnet werden. Kritischer Punkt ist der verschleißintensive Verdichterbetrieb der hier in Frage kommenden Kompressionswärmepumpe. Dies insbesondere bei den vergleichsweise hohen Betriebstemperaturen. Daraus ergibt sich ein im Vergleich zu anderen Apparaten hoher Wartungsaufwand.

Ein ökonomisches Einsparpotenzial im Bereich der Wärmerückführung durch Substitution von Heizenergie für das Laugebad ist aufgrund der erforderlichen Investitionshöhe nicht zu erwarten. Die Gestehungskosten für die WP-Wärme liegen mit knapp 4ct/kWh bei Berücksichtigung der Investition für die Wärmepumpe in der gleichen Größenordnung wie die Gestehungskosten für Prozessdampf mit ca. 4,3 ct/kWh.

Primäres Ziel ist jedoch die Sicherstellung der erforderlichen Flaschenabgabetemperatur.



## Auswirkungen auf die Umwelt

Durch die gewählte Verfahrenskombination wird der zusätzlich erforderliche Energiebedarf so gering wie möglich gehalten, bei gleichzeitiger Nutzung des gesamten Abwärmestromes. Auf den Einsatz einer Wärmepumpe kann nicht komplett verzichtet werden, da ansonsten die geforderte Flaschenabgabetemperatur nicht gewährleistet ist.

Die für Kompressionswärmepumpen übliche kondensatorseitige Leistungszahl von  $\epsilon \approx 3$  bedeutet für das Gesamtsystem eine neutrale Primärenergiebilanz. Da die für den Betrieb des Verdichters benötigte elektrische Energie i.d.R. mit einem Wirkungsgrad von ca. 40% aus Primärenergie gewonnen wird, kann die an der Maschine gewonnene Energieeinsparung nicht auf den Primärenergieverbrauch übertragen werden.

Durch den Einsatz moderner FCKW- freier Eratzkältemittel bleibt das Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt auf ein Minimum beschränkt.

## 4.3 Vorversuche im Technikum und im Labor

Im ersten Feldversuch an der Flaschenreinigungsmaschine wurde eine Membrane der Firma Toray eingesetzt, da diese Membrane aus energetischen (Druckniveau), thermischen (Temperaturverträglichkeit) und wirtschaftlichen Gründen die für den Einsatzzweck beste Lösung darstellt.

Im Feldversuch konnte jedoch mit diesem Modul keine ausreichende Reinigungsleistung erzielt werden. Im Labor konnte der Entschäumer als Ursache für irreversible Verblockungen identifiziert werden. Für einen wirtschaftlichen Betrieb der Wasseraufbereitung kann dieser Membrantyp daher nicht eingesetzt werden. Es ist eine Membranreisezeit von mindestens 40h und eine reproduzierbare hohe Abreinigungsfähigkeit erforderlich.

ecolab hat seine einschlägigen Erfahrungen als Grundlage für die weiteren Versuche eingebracht:

- Bereits vor ca. zehn Jahren (1994) hat ecolab damit begonnen, nach Entschäumern zu suchen, welche eine deutlich bessere Verträglichkeit zu Umkehrosmose Membranen aufweisen. Innerhalb von zwei Jahren konnten deutliche Verbesserun-





gen bei der Reisezeit von Membranen mit hauseigenen Entschäumern erzielt werden. Zum Einsatz kamen damals Membranen der Firma DESAL.

- Die Filtrationstemperatur stellt einen wesentlichen Einflussfaktor dar, da die Entschäumer-substanzen oberhalb einer gewissen Temperatur (Trübungsgrenze) als nichtlösliche Tröpfchen vorliegen. In dieser Form ist die Membranbelegung besonders intensiv und irreversibel. Voraussetzung für eine Membranfiltration entschäumerhaltiger Medien ist daher eine Temperaturobergrenze von 30°C. Dies, da in FRM's i.d.R. Produkte mit niedrigem Trübungspunkt eingesetzt werden, um ein verstärktes Schäumen beim Anfahren der Maschine zu vermeiden.
- Der Einsatz von Entschäumern in FRM's ist immer notwendig, da der im Laugebad abgelöste Etikettenleim ansonsten eine zu starke Schaumbildung verursacht.
- Kettengleitmittel hat nach Einschätzung und Erfahrung von ecolab keinen negativen Einfluss auf die Filtrationsleistung, da zum einen die Konzentration im Spülwasser zu gering ist und es darüber hinaus ausflockt.
- Steinhemmende Chemikalien sind als limitierende Substanzen ebenfalls mit Sicherheit auszuschließen
- Es sind auch keine weiteren filtrationshemmenden Eigenschaften anderer in der FRM vorhandener Substanzen bekannt. In der Vergangenheit waren diesbezüglich keine Probleme zu beobachten.

An Hand der Erfahrungen von ecolab wurden Labor- und Feldversuch mit anderem Membranmaterial und geänderten Parametern fortgeführt:

Das vorgeschlagene Membranmaterial lässt sich nach einer Beaufschlagung mit einem von ecolab entwickelten Vorserienprodukt im Labor wieder auf einen akzeptablen Wert abreinigen. Der daraufhin wiederholte Feldversuch bestätigt im Grundsatz die im Labor erzielten Ergebnisse.

Eine signifikante Verschlechterung des Reinigungsergebnisses ist nicht zu beobachten. Die ermittelten Reisezeiten zwischen den Membranreinigungen bewegen sich jedoch in einem Bereich, der noch weit von den für einen Praxiseinsatz erforderlichen mindestens 40 Stunden entfernt ist.



# BERICHT

Blatt 41 von 50

4. Auswertung und Diskussion



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

Für die unbefriedigende Reisezeit werden zwei Faktoren mit erheblichem negativem Einfluss verantwortlich gemacht.

- Das Membranmodul wurde bereits für den Laborversuch III verwendet und war von daher mit dem als unverträglich ermittelten Entschäumer Prevafoam PB vorbelastet. Dieser Umstand ist weiterhin für das deutlich höhere Druckniveau verantwortlich.
- Die Vorfiltration des Warmwasser II wurde mit einem Kerzenfilter sowie mit einem Sandfilter durchgeführt. Beide Filter waren nach kürzester Zeit mit Papierfasern zugesetzt. Auch das Rückspülwasser bei der Membranreinigung wies eine erkennbare Trübung auf. Dies deutet auf Defizite bei der Vorfiltration hin, welche geeignet sind, eine Verkürzung der Membranreisezeit zu bewirken.

Diese Ergebnisse machen es erforderlich das Verfahren für die Vorfiltration im Detail zu untersuchen und zu optimieren. In einem weiteren Feldversuch mit fabrikneuen Membranen kann daraufhin in Verbindung mit einer optimierten Vorfiltration die Reisezeit ermittelt und ggf. optimiert werden.

Die Aufbereitungsqualität ist, was die chemischen Parameter anbelangt, ausreichend um einen Einsatz des Permeats als Substitution von Frischwasser zu erlauben. Die schlechten Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung des Feldversuchs II sind wahrscheinlich auf einen Verkeimungsherd auf der Permeatseite der Membran zurückzuführen, da die Membrane über einen längeren Zeitraum (zwischen Laborversuch II und Feldversuch II) nicht in Betrieb war. Ein Durchlass von Keimen durch die Membran ist unter normalen Betriebsbedingungen auszuschließen.



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de

# BERICHT

Blatt 42 von 50

## 5 Fazit

### 5.1 Technische Umsetzung

Die für die Kreislaufführung gewählten Technologien können von ihrer Handhabung her generell als ausgereift bezeichnet werden. Wenn von einer weitgehenden Automatisierung des Normalbetriebs ausgegangen wird, ist bei üblicher Personalausstattung im Flaschenkeller nicht mit einem zusätzlichen Personalaufwand zu rechnen.

Reinigungen und andere Wartungsarbeiten werden üblicherweise in Betriebspausen oder nach Ende der Abfüllschichten durchgeführt. Insofern steht das Kreislaufsystem, von eventuellen Betriebsstörungen abgesehen, für den Abfüllbetrieb unterbrechungsfrei zur Verfügung.

Ein zusätzlicher Personaleinsatz wird für die Reinigung der UO- Membranen erforderlich werden. Dieser Arbeitsschritt ist bei der betreffenden Anlagengröße nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand automatisierbar. Aus den bislang durchgeführten Versuchen ist zudem noch kein sicherer Rückschluss auf die zu erwartende Membranreisezeit zu ziehen. Angestrebt wird eine Reisezeit von mindestens einer Arbeitswoche, so dass zu Beginn jeder Woche das Kreislaufsystem mit frisch gereinigten Membranen in Betrieb gehen kann.

Nach den vorliegenden Ergebnissen der Machbarkeitsuntersuchungen scheint es prinzipiell möglich zu sein, das betreffende Flaschenspülwasser mit Umkehrososetechnik aufzubereiten und dabei eine Qualität zu erzielen, die eine Teilsubstitution von Frischwasser erlaubt.

In den durchgeführten Versuchen, insbesondere bei den Feldversuchen hat sich jedoch gezeigt, dass die Leistung der Umkehrosomose auch bei geeigneter Auswahl an Chemikalien sehr sensibel auf unterschiedliche Betriebsbedingungen reagiert. Um den Einfluss unterschiedlicher Betriebsbedingungen auf die Membranleistung korrelieren zu können ist ein Langzeitfeldversuch mit den resultierenden Beobachtungen notwendig.

Ebenso hat sich die in den Feldversuchen bislang eingesetzte Vorfiltrationstechnik als unzureichend erwiesen. Es sind daher weitergehende Laboruntersuchungen über adäquate Vorfiltrationsstufen durchzuführen. Die Suffizienz der dann gewählten Vorfiltration ist ebenfalls im Langzeitversuch zu belegen.



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de



## 5.2 Ökologische Bilanzierung

### Ökologische Wirkungen der Rückgewinnung von Spülwässern bei Flaschenreinigungsanlagen

Das an ökologischen und ressourcenorientierten Gesichtspunkten ausgerichtete Ziel eines Kreislaufsystems für Prozesswärme und Prozesswasser in Brauerei- und Getränkebetrieben ist die Reduzierung des Verbrauchs an Frischwasser und damit die Schonung der natürlichen Ressourcen. Voraussetzung für die erfolgreiche ökologische Ausrichtung der beschriebenen Kreislauftechnologie ist eine ausdifferenzierte Führung der Prozesswärme um energetische Verluste zu vermeiden.

Die bezüglich des analysierten Verfahrens umweltrelevanten Wirkungen verteilen sich auf verschiedene Umweltmedien und Ressourcenkategorien. Für eine zusammenfassende (aggregierte) quantitative Bewertung existiert bislang keine konsensfähige Methodik. So wird der reine Verbrauch an Wasser bislang in Ökobilanzen keiner Wertung unterzogen. Aus diesem Grund kann eine abschließende Gewichtung bzw. Abwägung mit den weiteren Umweltwirkungen Energieverbrauch und der mit der Tensidbelastung verbundenen Parameter Eutrophierung etc., als auch der aus dem Verbrauch an Säure und Lauge resultierenden Aufsalzung des Abwassers nicht erfolgen. Im Folgenden soll jedoch soweit möglich eine qualitative Beurteilung vorgenommen werden.

### Reduzierung Wassereinsatz

Die erzielbare Reduktion des Frischwassereinsatzes kann mit rund 180 ml/Flasche bzw. 65 % des bisherigen Verbrauchs beziffert werden. Der Absolutbetrag des theoretisch erschließbaren Potenzials ist gesehen auf die Betriebe der Mehrweg-Getränkeindustrie enorm, da hier sehr große Zahlen an Flaschen im Umlauf sind. So kann derzeit von rund 12 Mrd. Mehrweg-Flaschenfüllungen im Brauereiwesen und von rund 11 Mrd. Mehrweg-Flaschenfüllungen bei den Mineralbrunnenbetrieben pro Jahr ausgegangen werden.<sup>1</sup> Damit besteht ein theoretisch erschließbares Potenzial von 4,1 Mio. m<sup>3</sup> jährlich bzw. rund 50 Litern pro Einwohner und Jahr.

### Energie

In energetischer Hinsicht ändert sich durch den Betrieb des Kreislaufsystem am Bedarf der dem Laugebad zugeführten Wärme nichts. Der Eintrag an Wärmeenergie in die



<sup>1</sup> Schätzung basierend auf den Daten des Dt. Brauer-Bundes (2002): „Daten und Fakten für das Jahr 2002“. Diese Schätzungen entsprechen auch den Angaben von GDB, Düsseldorf/Bonn (2003): Mehrweganteil steigt um mehr als 10 %, PE-Ticker vom 8. April 2003, Internet [http://www.petnology.com/deutsch/ticker/beitraege\\_deut/gdb/0304.html](http://www.petnology.com/deutsch/ticker/beitraege_deut/gdb/0304.html)

FRM ist zum weitaus überwiegenden Teil dazu erforderlich, die Flaschen in mehreren Schritten auf das Temperaturniveau des Laugebades zu bringen, da hier eine konstante Temperatur von 80 – 85 °C aufrecht zu erhalten ist. Die Wärmezufuhr erfolgt ausschließlich über das Laugebad, da hier die durch die Flaschen und Flaschenträger aus dem Laugebad ausgetragene Wärmeenergie auszugleichen ist.

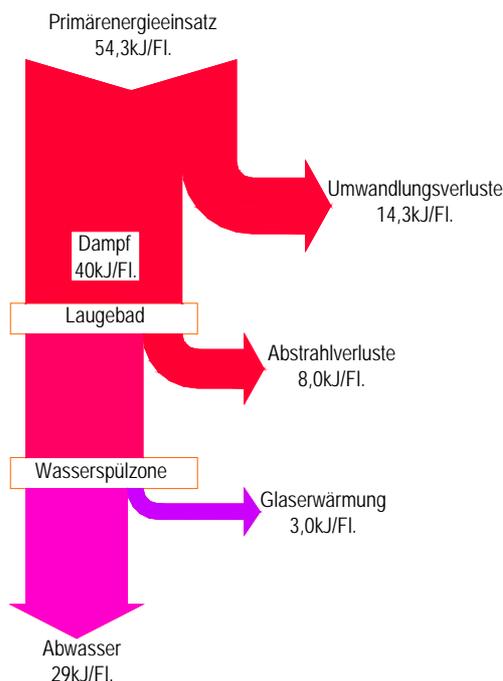


Abbildung 5-1 Thermische Energieführung einer konventionellen Flaschenreinigung

Abbildung 5-1 veranschaulicht die Aufteilung des Primärenergieeinsatzes für die thermische Energieführung einer konventionellen Flaschenreinigung. Verfahrenstechnisch stellt sich nun das Problem, dass die in den Flaschen und daran gekoppelt auch die in den Flaschenträgern gespeicherte Wärmemenge vor der Befüllung mit dem Produkt abgeführt werden muss. In der konventionellen Betriebsweise erfolgt die Rückkühlung der Flaschen durch das zugeführte Frischwasser, indem die Flaschen in mehreren Spülkaskaden auf ca. 30°C abgekühlt werden. Durch den um 65 % reduzierten Frischwassereinsatz reduziert sich jedoch auch die Wärmeabfuhr bzw. Kühlleistung um das Maß der Reduzierung des Wasserverbrauchs. Damit bedarf es gleichzeitig einer zusätzlichen externen Wärmeabfuhr. Diese zusätzlich erforderliche Kühlleistung errechnet sich aus der Absenkung der Temperatur des Permeatstroms von 55°C auf 20 ° und beträgt rund 17 kJ/FI (gem. Kapitel 3.2).



In der konventionellen Betriebsweise der FRM geht die Wärme mit einem Temperaturniveau von 35-40 °C über das Abwasser verloren (s. Abbildung 5-1). Für das Abführen der Wärmeenergie im Kreislaufsystem bieten sich die in Kapitel 3.2 beschriebenen Optionen an. Einmal kann die überschüssige, nicht rekuperativ rück zuführende Wärme über einen Kühlturm an die Atmosphäre abgegeben werden, zum Anderen kann eine Kühlung mittels einer Wärmepumpe erfolgen, welche dann gleichzeitig Wärme auf höherem Energieniveau bereitstellt um einen Teil der Heizenergie für das Laugenbad zu ersetzen.

Diese beiden Varianten sind hinsichtlich ihres Primärenergieaufwandes näher zu beleuchten.

## Kühlung über Wärmepumpe und Teilbeheizung des Laugenbades

Die erforderliche Kühlleistung der Wärmepumpe wurde mit 17 kJ/FI (140 kW) errechnet. Die Wärmeleistung setzt sich zusammen aus der Kühlleistung und der elektrischen Verdichterleistung und beträgt ca. 26 kJ/FI (170 kW). Der primärenergetische Aufwand errechnet sich aus dem Einsatz an elektrischer Energie und beträgt 26 kJ/FI.

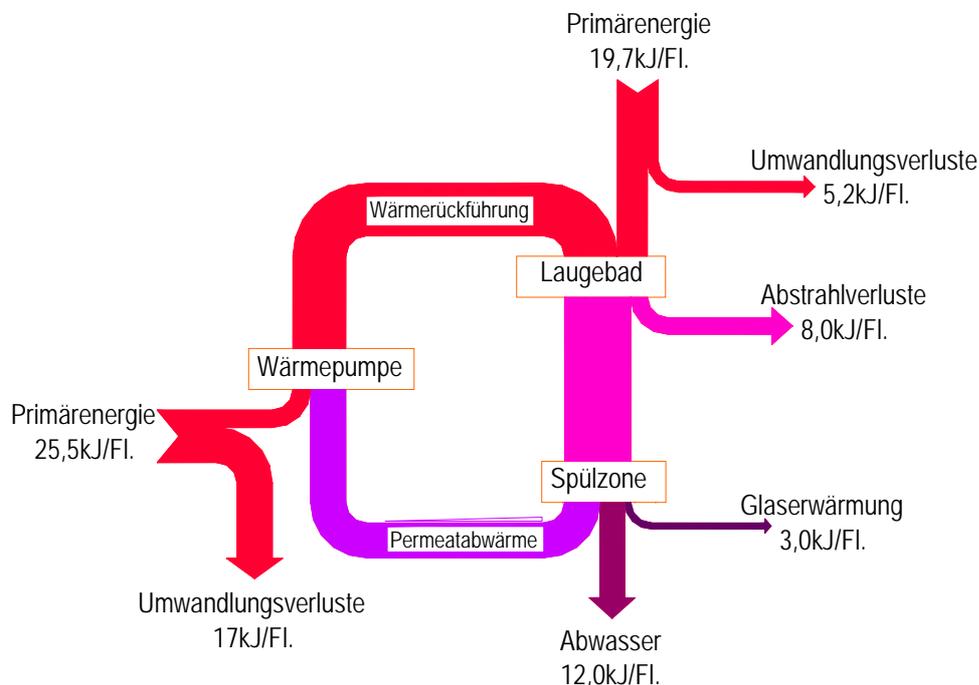


Abbildung 5-2: Thermische Energieführung bei Einsatz einer Wärmepumpe



## Wärmeabfuhr über Kühlturm

Für dieses Szenario fallen die elektrischen Aufwendungen für den Betrieb des Kühlturmes an. Um eine Vergleichbarkeit mit dem Szenario Wärmepumpe herzustellen ist daneben eine von der Wärmepumpe gelieferte adäquate Wärmemenge über konventionelle Technik bereitzustellen.

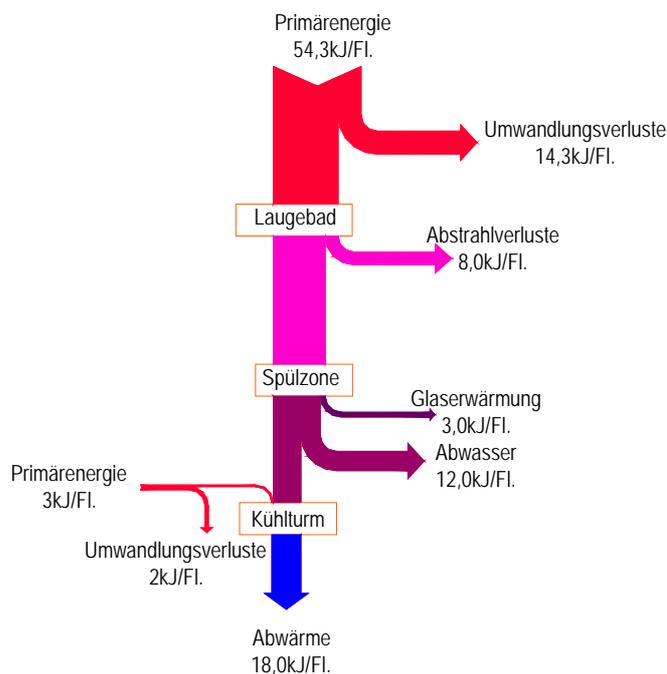


Abbildung 5-3: Thermische Energieführung bei Einsatz eines Kühlturmes

Die elektrische Leistung für den Betrieb des Kühlturmes wird auf rund 1 kJ/FL (5 kW) für Lüfter und Umwälzpumpen angesetzt, welche einem Primärenergieaufwand von rund 3 kJ/Fl (15 kW) entsprechen.<sup>2</sup> Gleichzeitig ist die abgeführte Wärmemenge über eine konventionelle wärmetechnische Anlage zur Verfügung zu stellen. In der Regel erfolgt dies bei Brauereien über einen Dampfkreislauf, bei Mineralbrunnenbetrieben wird zumeist Warmwasser erzeugt. Im vorliegenden Falle wird von einem Gaskessel mit einem Wirkungsgrad von 0,9 und einem Dampfkreislauf mit einem Wirkungsgrad von ebenfalls 0,9 ausgegangen.

<sup>2</sup> Umberto (2001): Umberto 4.0 - Software für das betriebliche Stoffstrommanagement. Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH (ifu), Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu), Hamburg, Heidelberg, Juni 2001



# BERICHT

Blatt 47 von 50



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

Der Gesamtwirkungsgrad der Heiztechnik beträgt damit rund 0,81. Hinzuzurechnen sind die Verluste bei der Gewinnung und Transport des Erdgases, welche mit einem Faktor von rund 1,1 anzusetzen sind.<sup>3</sup> Der Primärenergieaufwand für die Wärmebereitstellung beträgt damit 54 kJ/FI. Der Gesamtprimärenergieaufwand für das Szenario beträgt 57 kJ/FI (ohne den Energiebedarf für die Umkehrosmose).

## Vergleich Kühlturm - Wärmepumpe

Der Betrieb der Wärmepumpe erbringt unter den dargelegten Rahmenbedingungen einen leichten energetischen Vorteil und führt damit zu einer Einsparung an Ressourcen.

## Vergleich konventioneller Betrieb – Kreislaufsystem

Für den Betrieb der Wasseraufbereitung ist ein elektrischer Aufwand für den Betrieb der Pumpen und sonstigen Aggregate in Höhe von rund 2,4 kJ/FI und damit ein Primärenergieaufwand von 7,2 kJ/FI erforderlich. Zusammen mit dem Betrieb der Wärmepumpe ergeben sich damit rund 52 kJ/FI; womit der Primärenergieeinsatz eine vergleichbare Größenordnung annimmt wie bei dem konventionellen Betrieb einer Flaschenreinigungsmaschine. Die Tabelle 5-1 zeigt dies in der Zusammenstellung.

Reduzierung des Frischwassereinsatzes um 65% bei 30.000 FI./h	Energieleistungsbedarf, Bsp. Kassel	Energie pro Flasche	Primärenergiebedarf
Installierte elektrische Leistung für Wasseraufbereitung	12 kW	2,4 kJ	7,2 kJ/FI.
Kühlleistung für 5,6 m <sup>3</sup> Permeat von 42°C auf 20 °C 5,6 m <sup>3</sup> /h * 4,187 KJ/(kg*K) * 22 K	142 kW	17 kJ	
Elektrische Leistung (Verdichterleistung) der Wärmepumpe bei einem Verhältnis Kühlleistung : Verdichterleistung von 2 : 1	71 kW	8,5 kJ	25,5 kJ/FI.
Verbleibender Wärmebedarf, Lauge	121 kW	14,5 kJ	19,7 kJ/FI.

Tabelle 5-1: Energiebedarf des Kreislaufsystems am Beispiel der Maschine in Kassel



Gefördert durch die  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt



<sup>3</sup> Primärenergiefaktor nach Umberto zwischen 1,07 und 1,18

## 5.3 Wirtschaftliche Betrachtung

Die Einsparmöglichkeiten, die sich mit dem Kreislaufsystem für den Betreiber ergeben, hängen neben der Investition im wesentlichen von den Energie- und Wassergestehungskosten ab.

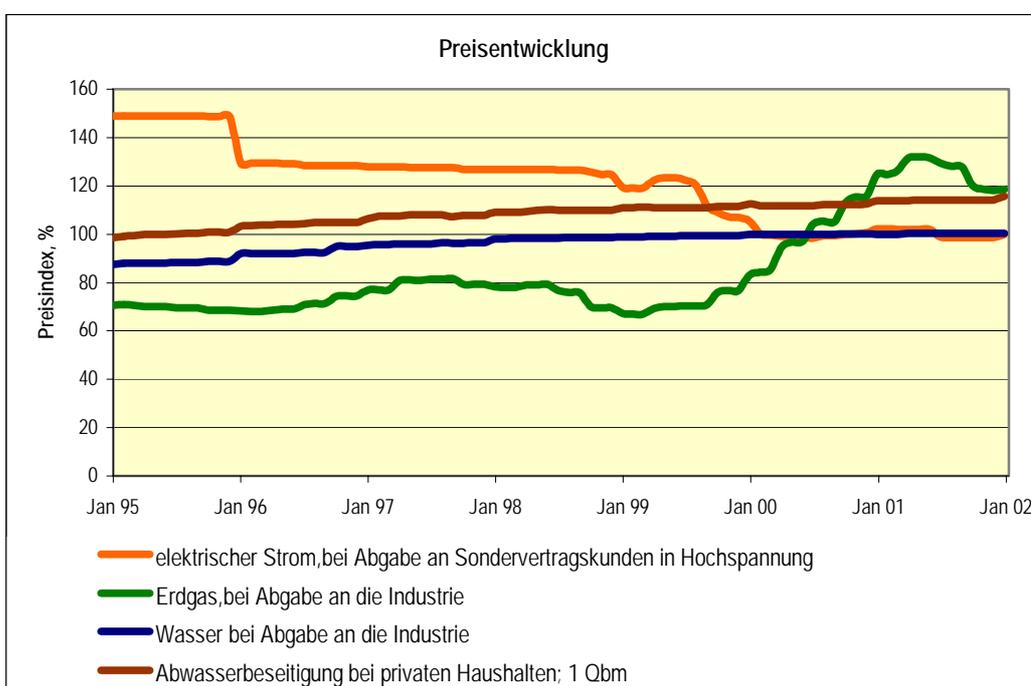


Abbildung 5-4: Preisentwicklung der Erzeugerpreise für Energie und Wasser

Die vom Statistischen Bundesamt geführten Zeitreihen zu diesen Bereichen sind in Abbildung 5-4 wiedergegeben. Zu erkennen sind die durch Strommarktliberalisierung und internationale Energiemärkte verursachten Energiepreisschwankungen. Wasser- und Abwasserkosten bewegen sich dem gegenüber langsam aber konstant nach oben. Die Zeitreihe „Abwasserbeseitigung bei privaten Haushalten“ wird hier mit aufgeführt, da das Statistische Bundesamt keine vergleichbare Zeitreihe für Industriekunden führt. Die Preisentwicklung dürfte sich hier jedoch vergleichbar verhalten haben.

In einem Anfang Januar 1998 durchgeführten Wasserpreisvergleich des Bundesverbandes der Energie-Abnehmer e. V. [12] wurde für die alten Bundesländer ein Durch-



# BERICHT

Blatt 49 von 50



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

schnittspreis von 6,316 DM und für die neuen Bundesländer ein Durchschnittspreis von 8,129 DM für Wasser und Abwasser gesamt ermittelt. Es sind für diesem Bereich Spannen von 3,744 DM (Ingolstadt) bis 12,877 DM (Kassel) zu verzeichnen.

Die Erdgaspreise bewegten sich im Oktober 1997 nach Erhebungen des selben Verbandes [13] im Bereich zwischen 3,0 und 5,7 Pf./kWh, wobei die regionalen Unterschiede hier weniger ausgeprägt sind. Preisspannen ergeben sich hauptsächlich durch das Nutzungsverhalten der Abnehmer (Lastspitzen, Jahresabnahme). In diesem Zusammenhang wird auch auf den enormen Preisanstieg hingewiesen, welcher seit der Erhebung zu verzeichnen war.

Als einziges rückläufig war in den vergangenen Jahren das Strompreinsniveau. Dies ist im wesentlichen auf die zurückliegende Liberalisierung in diesem Bereich zurückzuführen. Der Bundesverband der Energie-Abnehmer e. V. ermittelte Anfang Januar 1998 [14] einen Durchschnittspreis für Sondervertragskunden von 18 Pf./kWh für die alten und 19,65 Pf./kWh für die neuen Bundesländer. Hier wurde eine vergleichsweise enge Preisspanne von ca. 17% bezogen auf den günstigsten Anbieter angegeben.

Insgesamt gibt die derzeitige Kostensituation günstige Rahmenbedingungen für den Einsatz des Kreislaufsystems vor. Die Kosten für Wasser und Abwasser, durch welche in der Hauptsache das Einsparpotenzial zustande kommt, befinden sich auf hohem Niveau. Es sind besonders im Abwasserbereich auf Grund eines großen Investitionsstaus bei der kommunalen Abwasserentsorgung in den kommenden Jahren weitere deutliche Steigerungen zu erwarten.

Zusätzlich begünstigen vergleichsweise niedrige Strom- und hohe Primärenergiepreise den Einsatz des untersuchten Wärmepumpenkonzeptes. Hier ist jedoch nach der Konsolidierung des Strommarktes wieder mit steigenden Strompreisen zu rechnen, wohingegen die Preise für Primärenergien, abhängig von den internationalen Märkten, mittelfristig keine eindeutige Tendenz aufweisen.

Donaueschingen, 23.02.2004

Ingenieurbüro  
Dipl.-Ing. J. Ledwig



Dipl.-Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen  
Tel.: 0771/14000  
fax: 0771/14940  
info@ibledwig.de  
www.ibledwig.de



## 6 Literaturverzeichnis

- [1] **N. Scharnagel, U. Bunse:** Einsatz von Membrantechnik zur Wassereinsparung bei Flaschenreinigungsanlagen, *F&S Filtrieren und Separieren, Jahrgang 16 (2002), Nr. 2, S. 64-68*
- [2] **F. Rögener:** Untersuchung zur Separation von Verunreinigungen aus Waschlauge und Nachspülwasser von Flaschenwaschmaschinen, *Dissertation, Universität des Saarlandes, 2000*
- [3] **M. Althaus:** Versuchsbericht „Orientierender Feldversuch“ Martini-Brauerei Kassel *(in der Anlage)*
- [4] **R. Krack:** Versuchsbericht ???, *(in der Anlage)*
- [5] **A. Flach:** Statusbericht 26.06.03, *(in der Anlage)*
- [6] **A. Flach:** Statusbericht 05.08.03, *(in der Anlage)*
- [7] **A. Flach:** Statusbericht VI, *(in der Anlage)*
- [8] **A. Flach:** Statusbericht VII, *(in der Anlage)*
- [9] **A. Flach:** Statusbericht VIII, *(in der Anlage)*
- [10] **Thomas Schuster:** Feldversuch in der Martinibrauerei Kassel vom 24.11. bis 11.12.03, *(in der Anlage)*
- [11] **Heinz Petersen:** Brauereianlagen, 2. Auflage, *Verlag Hans Carl, Nürnberg, 1993*
- [12] **Arno Bachmann:** Wasserpreisvergleich 1998, *Mitteilungen des Bundesverbandes der Energie-Abnehmer e. V.*
- [13] **Jürgen Maack:** Erdgaspreisvergleich II/1997, *Mitteilungen des Bundesverbandes der Energie-Abnehmer e. V.*
- [14] **Jürgen Maack:** Bundesstrompreisvergleich I/1998 für Sondervertragskunden elektrischer Energie, *Mitteilungen des Bundesverbandes der Energie-Abnehmer e. V.*



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

**Projekt:** Kreislaufsystem für Prozesswärme und Prozesswasser  
in Brauerei- und Getränkebetrieben (WESSY)

AZ18349

**Thema:** Abschlussbericht Projektphase II

**Verteiler:** DBU, Ingenieurbüro Ledwig, Seebach



29.01.2010

überarbeitet am 06.11.10



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## Inhalt:

1. Zielsetzung.....	3
1.1 Ausgangssituation.....	3
1.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Projektphase I.....	3
1.3 Zielsetzung Projektphase II.....	3
1.4 Vorgaben.....	4
2. Vorgehensweise.....	6
2.1 Analyse der Partikelverteilung.....	6
2.2 Laborversuche mit Wasser aus der Reinigungsmaschine.....	8
2.3 Laborversuche mit Versuchsanlage.....	11
2.4 Aufbau und Inbetriebnahme der Feldversuchsanlage.....	11
2.5 Versuchsablauf.....	14
2.5.1 Beschreibung der Versuchsreihe.....	14
2.5.2 Problemstellungen im Versuchsablauf.....	15
3. Arbeitsergebnisse.....	17
3.1 Fluxraten und Standzeiten.....	17
3.2 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.....	18
3.3 Reversibilität der Membran.....	23
3.4 Erreichte Qualitäten des Permeates.....	23
3.5 Wärmerückgewinnung.....	24
3.6 Anwendungsgebiete.....	26
4. Wirtschaftlichkeit.....	26
5. Fazit.....	27
6. Anhang.....	29



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 1. Zielsetzung

### 1.1 Ausgangssituation

### 1.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Projektphase I

Den Ergebnissen der ersten Projektphase (Zwischenbericht vom 23.02.2004) ist zu entnehmen, dass in den ersten Feldversuchen eine unbefriedigende Vorreinigung (Kombination aus Sandfilter und Kerzenfilter) des zu reinigenden Wassers aus der Warmwasserzone II der Flaschenreinigungsmaschine zu einer negativen Beeinflussung der Membranreizezeit (Zeit zwischen zwei Reinigungen der Membran) festgestellt wurde. Darüber hinaus führten die im Warmwasser II enthaltenen Restmengen an Entschäumer, welche in die Waschlauge dosiert werden, zur irreversiblen Verblockung der Membranen.

Die Qualität der chemischen Parameter des Permeats nach der Aufbereitung des Wassers aus der Warmwasserzone II der Flaschenwaschmaschine war bereits mit den Versuchen aus der ersten Projektphase ausreichend, um die Substitution von Frischwasser vorzunehmen. Allerdings wurde eine mikrobiologische Verkeimung der Membran festgestellt, welche auf einen längeren Zeitraum der Außerbetriebnahme zurückgeführt werden konnte.

### 1.3 Zielsetzung Projektphase II

Die Zielsetzung der Projektphase II war zunächst die Lösung der in Projektphase I aufgetretenen Problemstellungen wie

- Verbesserung der Vorreinigung
  - Abscheidung der Papierpartikel (Etikettenreste)
- Beseitigung der Membranverblockung
  - Abreinigbarkeit der Entschäumer
- Verlängerung der Membran-Reizezeiten
  - einwandfreie Permeatqualität

Darüber hinaus war es Ziel, in einem Feldversuch über einen Zeitraum von etwa 3 Monaten unter realen Betriebsbedingungen die Erreichung und Einhaltung obiger Kriterien nachzuweisen. Damit sollte das Konzept der Kreislaufführung von Spülwasser auf seine Machbarkeit in der Praxis hin getestet werden, damit eine belastbare Grundlage für den



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

künftigen Bau einer Pilotanlage vorliegt.

Auf Basis der Erfahrungen des Feldversuches war die Wirtschaftlichkeit durch Upscaling auf eine Anlage im Maßstab 1:1 zu ermitteln.

## 1.4 Vorgaben

Der Anlagenbetreiber hat die rechtlichen Grundlagen als Rahmenbedingungen bei der Implementierung einer neuen Technologie zu berücksichtigen. Wie bereits im Zwischenbericht zur Projektphase I dargelegt, sind hier folgende Vorgaben zu beachten:

- a) lebensmittelhygienische Verordnungen, soweit ein Produktkontakt (Spülvorgänge, Haftwasser) entstehen kann
- b) gesetzliche Regelungen zur Abwassersituation im Getränkebetrieb

### Lebensmittelhygienische Situation

Da das letzte Spülmedium als Haftwasser direkt oder in Form von Verdunstungsrückständen mit dem Produkt in Berührung kommt, fällt es in den Geltungsbereich einschlägiger Verordnungen der Lebensmittelproduktion. Für das Kreislaufwasser ist dies von Bedeutung, da es direkt vor der letzten Frischwasserspülung, oder ggf., bei ausreichender Qualität, auch an Stelle dieser eingesetzt werden kann. Daher ist durch Verschleppung immer mit Produktkontakt in mehr oder minder verdünnter Form zu rechnen.

Folgende lebensmittelhygienische Regelungen sind relevant:

- Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (LMBG)
- Lebensmittelhygiene-Verordnung (LMHV)
- Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (TVO)

Das LMBG lässt in § 11, Abs. 2 Nr. 2 demineralisiertes Wasser ausdrücklich als Zusatzstoff bei der Lebensmittelproduktion zu. Wenn demnach mineralarmes UO-Wasser über Verschleppung mit dem Getränk in Berührung kommt, so ist dies an sich zulässig. In der LMHV werden in § 3 Satz 2, Nr. 2 i.V.m. Kapitel 5, Nr. 6 der Anlage die Einhaltung allgemeiner Hygieneanforderungen für Lagerung und Transport von Lebensmitteln vorgeschrieben, um der Gefahr einer nachteiligen Beeinflussung entgegen zu wirken. Dies geschieht durch das Vermeiden bzw. Entfernen von die Genussstauglichkeit beeinträchtigenden Verunreinigungen in den Flaschen (Bedarfsgegenständen) entsprechend § 30 LMBG.



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

Zum Reinigen der Flaschen schreibt die TVO in § 2 Satz 1 i.V.m. § 3 Nr. 1b) die Verwendung von Wasser vor, welches ungeachtet seiner Herkunft auf Grund seiner Beschaffenheit für den menschlichen Gebrauch geeignet ist. Die Anforderungen hierfür werden in den §§ 5-7 i.V.m. den Anlagen 1-3 spezifiziert. Nach § 10 TVO kann ggf. eine Ausnahme hiervon beantragt werden, sofern eine Schädigung der menschlichen Gesundheit nicht zu besorgen ist.

## Abwassersituation

Folgende Regelungen bestehen zur Abwassersituation:

- Wasserhaushaltsgesetz i.V.m. entsprechenden Ländergesetzen
- Abwasserabgabengesetz (Direkteinleiter) oder Gebührenordnung des zuständigen Klärwerks (Indirekteinleiter)

Durch die Verringerung des hydraulischen Durchsatzes besteht keine Notwendigkeit für Umrüstungen am Entwässerungssystem. Weiterhin hat ein Einsatz des WESSY-Konzeptes keinen Einfluss auf die Belastung des Abwassers in Form der Schmutzfracht. Die durch das Abwasser verursachten Kosten korrelieren in der Regel mit der Schmutzfracht und in untergeordneter Weise mit der hydraulischen Menge. Bei indirekt einleitenden Betrieben über die nach Einwohnergleichwerten berechneten Gebühren an das öffentliche Klärwerk. Bei direkt einleitenden Betrieben über die Kosten für die Aufbereitung des Wassers zur Einhaltung der Einleitanforderungen.

Der Einfluss von WESSY auf die betriebliche Abwassersituation, anhand des Beispiels einer Brauerei gestaltet sich daher wie folgt:

Eine moderne Brauerei hat heute ein spezifisches hydraulisches Abwasseraufkommen von etwa 3 hl/hl<sub>Verkaufsbier</sub>. Hiervon entfallen auf den Reinigungsprozess einer modernen Flaschenwaschmaschine ca. 20 % oder 0,6 hl/hl<sub>Verkaufsbier</sub>. Bei einer Flaschenwaschmaschine mit einer Leistung von 50.000 Flaschen/h kann bei der Kreislaufführung nach dem „Wessy-Konzept“ von einer Reduzierung um 0,2 Liter/Flasche bezogen auf einen regulären Praxiswert von 0,3 Liter/Flasche ausgegangen werden. Dies entspricht einer Verringerung um 2/3 oder 66 %. In Zahlen bedeutet dies eine Reduzierung des Frischwassereinsatzes - und somit des Abwasseraufkommens - bei obiger Flaschenwaschmaschine von 15 m<sup>3</sup>/h auf 5 m<sup>3</sup>/h - oder als spezifische Kennzahl bezogen auf das gesamte spezifische hydraulische Abwasseraufkommen ausgedrückt:

→ von 3 hl Abwasser / hl<sub>Verkaufsbier</sub> auf → 2,6 hl Abwasser / hl<sub>Verkaufsbier</sub>



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

Bei einem Großteil der Brauereien und Getränkebetriebe liegt das spezifische hydraulische Abwasseraufkommen - je nach Alter der Flaschenwaschmaschine und je nach Art der zu reinigenden Flaschensorten und Flaschengrößen - deutlich (50 bis zu 100%) höher.

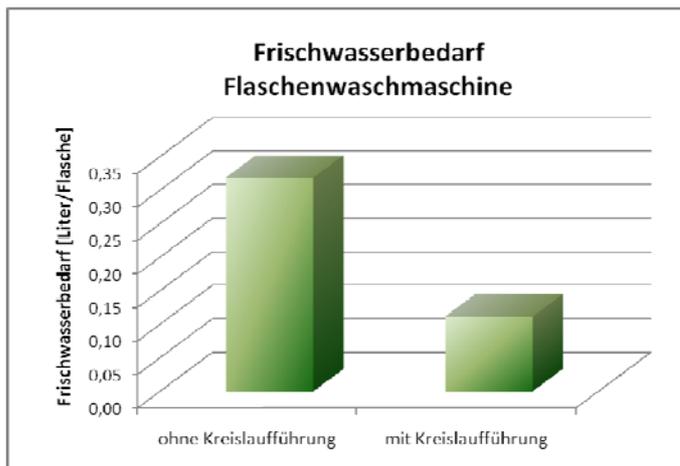


Bild 1: Reduzierung spezifisches Abwasseraufkommen durch „WESSY“

Der thermische Energieeinsatz zur Aufheizung des Wassers reduziert sich entsprechend um die Menge des Permeatstromes, welcher in die Flaschenwaschmaschine zur vorletzten Spritzung zurückgeführt wird. Die Temperatur darf an dieser Stelle jedoch maximal 25°C betragen. Das bedeutet, Wärme muss über einen Kühler an die Umgebung abgegeben werden oder aber für Vorheizzwecke (z.B. Brauchwasservorwärmung) genutzt werden. Dann würde sich das Einsparpotential nochmals erhöhen.

## 2. Vorgehensweise

### 2.1 Analyse der Partikelverteilung

Im Vorfeld der Projektphase II wurden Proben der Spülwässer aus der Reinigungszone II der Flaschenwaschmaschine der Fürstenbergbrauerei hinsichtlich der Partikelverteilung analysiert. Ziel der Partikelanalyse war die Festlegung der Filtrationsstufen in Laborversuchen und im darauf folgenden Feldversuch.

Die Partikelverteilung erfolgte durch Laserbeugungsverfahren mit einem Gerät der Firma Sympatec GmbH an der Außenstelle der FH Furtwangen in VS-Schwenningen (Fachbereich Umwelt- und Verfahrenstechnik).



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

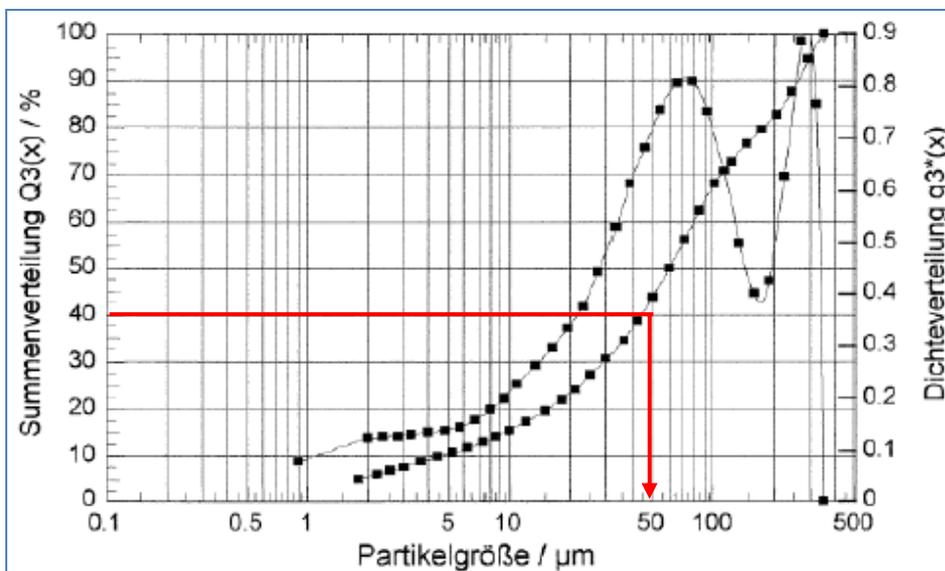


Bild 2: Partikelgrößenverteilung Reinigungsabwasser Fürstenberg Brauerei WW- Zone II  
Versuch ohne Beschallung mit Ultraschall (60% der Partikel sind kleiner 50  $\mu\text{m}$ )

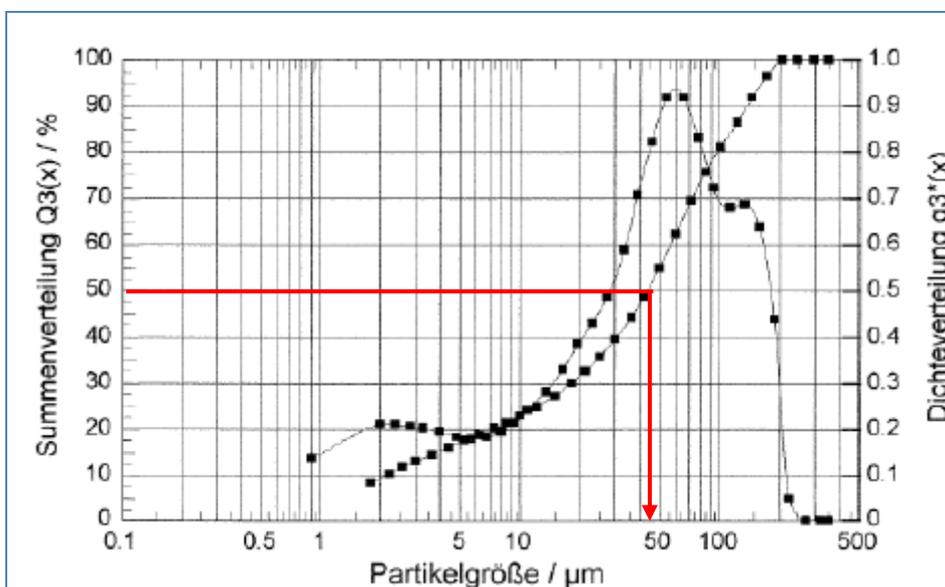


Bild 3: Partikelgrößenverteilung Reinigungsabwasser Fürstenberg Brauerei WW-Zone II  
Versuch mit Beschallung mit Ultraschall (60 s)  $\rightarrow$  Simulation Scherkräfte Pumpen (50% der Partikel sind kleiner 50  $\mu\text{m}$ )



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 2.2 Laborversuche mit Wasser aus der Reinigungsmaschine

Die Zielsetzung vor den Laborversuchen war wie folgt definiert:

Realisierung einer 2-stufigen Vorfiltration mit folgenden Anforderungen:

- Sicherstellung der prinzipiellen Funktionalität
- Aufbau einer dreistufigen Filterstation
- Erzielung eines wieder einsatzfähigen Permeates (Kreislaufführung)
  - frei von Tensiden, sonst entsprechend der TVO
  - mikrobiologisch und chemisch einwandfrei

Folgende Vorgehensweise wurde verfolgt:

- Entfernung der Grobpartikel
- Entfernung der Feinpartikel
- Membranfiltration

dadurch

- Abscheidung der Papierpartikel
- Entfernung aller Partikel  $\geq 2\mu\text{m}$  (ca. 95% aller Partikel)
- Entfernung der aus der Waschlauge enthaltenen Resten an Entschäumern
- Verlängerung der Membranreisezeit auf min. 170h

Um die optimale Abstufung der in zwei Stufen aufzubauenden Vorfiltration zu ermitteln, wurde im Labormaßstab mit Hilfe einer Partikelzählung jeweils vor und nach dem ersten und zweiten Vorfilter analysiert, inwieweit die Filter mit der gewählten Filterfeinheit zur Verblockung neigen. Rückschließend gab das Ergebnis Aufschluss, ob eine Standzeit mit der anvisierten Reisezeit der Membran von 170h erreicht werden kann.

Die Standzeit eines Filters kann wesentlich durch die Größe der Filterfläche und somit durch eine größere Schmutzaufnahmekapazität des Filterelementes beeinflusst werden. In der ersten Stufe der Vorfiltration zur Entfernung der Grobpartikel kam Versuchsweise ein Rückspülfilter zum Einsatz, der mit einem leicht reinigbaren Spaltrohr bestückt ist. Durch zyklische Rückspülung wird die Filterfläche des Spaltrohres gereinigt und somit eine Verblockung verhindert. Die zweite Stufe wurde mit einem Großflächenfilter bestückt, der mittels einer Tiefenfiltration Feinpartikel soweit reduziert, dass die verbleibenden Partikel durch die letzte Filterstufe, eine Polymermembran zurückgehalten und abgereinigt werden



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

können. Durch diese Anordnung soll die Reisezeit von min. 170h erreicht werden können.

Folgende Filtrationsstufen wurden im Labormaßstab erprobt:

1. Stufe: (*Vorfiltration*) Rückspülfilter mit Spaltröhrelement.

gemäß Partikelgrößenverteilung wird dem Filtrat bei 50µm Filterfeinheit ca. 60% der Schmutzfracht entzogen.

2. Stufe: (*Vorfiltration*) Großflächen Tiefenfilter mit 3µm Filterfeinheit

Durch die Wirkung der Tiefenfiltration sollen in dieser Stufe alle Partikel  $\geq 2\mu\text{m}$  (95% der ursprünglichen Schmutzfracht) soweit reduziert werden, dass mit der Polymermembran eine Reisezeit von min. 170 h möglich wird.

3. Stufe: (*Hauptfiltration*) Membranfilter

Sonstige gelöste Stoffe und Schwebeteilchen wie

- Tenside
- organische und anorganische Verbindungen
- Ionen aus Salzverbindungen
- Partikel  $< 2\mu\text{m}$

sollen vom Wasser getrennt werden.



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

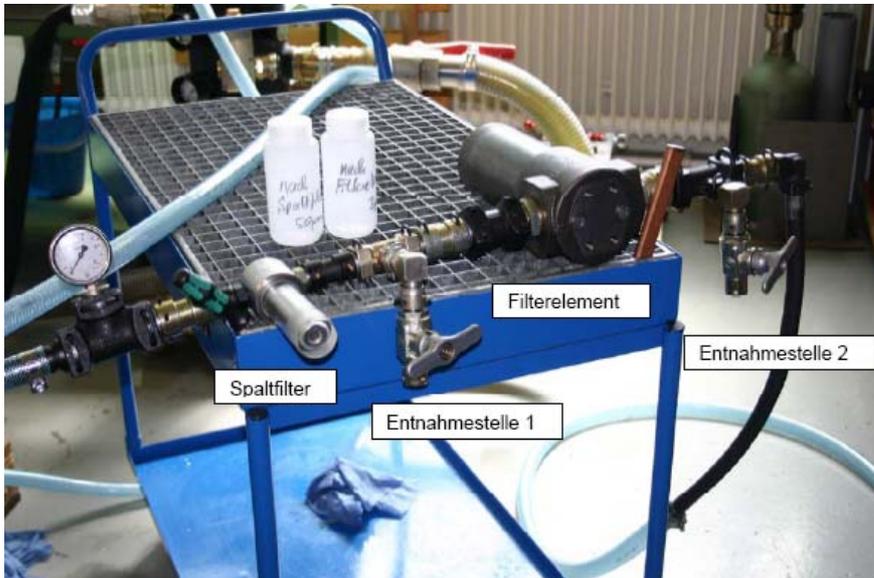


Bild 4: Versuchsaufbau Laborversuch mit Spaltfilter 50  $\mu\text{m}$  und Tiefenfilter 3  $\mu\text{m}$

Die Ergebnisse der Vorfiltration ließen auf eine erhöhte Standzeit der Filtration mit 3  $\mu\text{m}$  Tiefenfilter und der Membranfiltration schließen.



Bild 5: Spaltfilter 50  $\mu\text{m}$  vor der Filtration (links) und nach der Filtration (rechts)



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 2.3 Laborversuche mit Versuchsanlage

Die Versuchsanlage des Feldversuches wurde bei Seebach entsprechend dem unter 2.2 dargestellten Aufbau installiert. Nach der Durchführung von Funktionstests (Hardware, Steuerung) wurde die Anlage mit dem zur Verfügung stehenden Spülwasser der Fürstenbergbrauerei versuchsweise betrieben. Eine Aussage über den nachfolgenden Betrieb des Feldversuches konnte dabei jedoch nicht getroffen werden, da die Menge des Spülwassers zu gering war und sich gelöste Stoffe zum Teil abgesetzt hatten.

## 2.4 Aufbau und Inbetriebnahme der Feldversuchsanlage

Die Feldversuchsanlage, bestehend aus den beiden Vorfiltrationsstufen und der Hauptfiltration wurden bei Seebach vormontiert und am 22.04.09 in der Fürstenberg Brauerei in Donaueschingen angeliefert, installiert und in Betrieb genommen.

Beschreibung der Anlage:

Aus der Warmwasserzone II der Flaschenreinigungsmaschine werden mittels Pumpe JP001 Spülwasser über die beiden Vorfiltrationsstufen (50µm und 3µm) in den Arbeitstank gefördert. Die erste Vorfiltrationsstufe (50 µm) ist als rückspülbarer Filter (MPF-800/16, siehe Grafik) ausgeführt.

Zur Reinigung des MPF dienen ein Frischwasser- sowie ein Abwasseranschluss. Der 3 (1)µm-Tiefenfilter ist ein metallischer Kerzenfilter, Typ LLK mit einem Filtermedium aus Glasfaservlies (Datenblatt siehe Anhang).

Im Arbeitstank wird nach Erreichen der Arbeitstemperatur von > 50°C der pH-Wert einreguliert. Dies geschieht im Versuch über eine pH-Regulierung mittels Zitronensäure aus dem Säurebehälter über die Dosierpumpe JP003. Ein pH-Wert von < 8 ist für den Betrieb der Hauptfiltration (gewickelte Polymermembrane) aus Gründen der Membranverträglichkeit erforderlich.

Bei der eingesetzten Membrane handelt es sich um eine Spezialmembran Fabrikat DESAL.

- Typ: „Polymer-Hochtemperatur-Wickelmembrane“
- Filterfläche = 8 m<sup>2</sup>
- Rückhalterate MgSO<sub>4</sub> = 99,5 %
- Druckbereich = 13 bis 44 bar



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

Das Verhältnis von Permeat zu Konzentrat betrug unter den im Feldversuch herrschenden Betriebsbedingungen 90:10, d.h. die Permeat- Ausbeute lag bei 90 %.

Nachdem die Soll-Temperatur und der Soll- pH-Wert erreicht sind, beginnt der Filtrationsbetrieb. Das Spülwasser wird aus dem Arbeitstank mittels Pumpe JP002 über die Polymermembrane gefördert. Das dabei gewonnene Permeat wird mittels IDM (Induktive Durchfluss Messung) kontinuierlich gemessen. Durch die geringe Menge, welche im Feldversuch wiederaufbereitet wird, wurde die Wasserbilanz der Flaschenreinigungsanlage unwesentlich verändert, was für den Versuchsbetrieb vertretbar erscheint. Das Permeat wurde deshalb in den Kanal geleitet. Somit waren keine größeren Umbaumaßnahmen an der Flaschenreinigungsanlage erforderlich.

Das Konzentrat wurde in den Arbeitstank zurückgeführt, um die für den Versuchsaufbau ausreichende Flüssigkeitsmenge (Cross-flow-Betrieb) für die notwendige Fluxrate bereitzustellen.

Die Filtration arbeitete somit (im Feldversuch) im Batchbetrieb. Nachdem ein definiertes Niveau (und somit eine Aufkonzentration des Filtrates) im Arbeitstank erreicht ist, wird dieser entleert und neu mit Spülwasser aus der Flaschenreinigungsmaschine (Warmwasserzone II) befüllt. Dies ist in dieser Konstellation unumgänglich, da die Versuchsanlage mit nur einer Polymermembrane bestückt ist. Bei kontinuierlich arbeitenden Anlagen werden mehrere Membraneinheiten parallel eingebunden, so dass durch Einsatz eines Puffer-tanks ein „quasi-kontinuierlicher“ Betrieb gewährleistet werden kann.

Der Reinigungstank dient der Regeneration (Reinigung) der Polymermembran, welche mit alkalischen Reinigungsmittel mit einer Konzentration von  $c=10$  g/L erfolgt. Als Reinigungsmittel wurde eine konfektionierte Reinigungslösung, bestehend aus Natronlauge (NaOH) und dem Komplexbildner NTA eingesetzt.

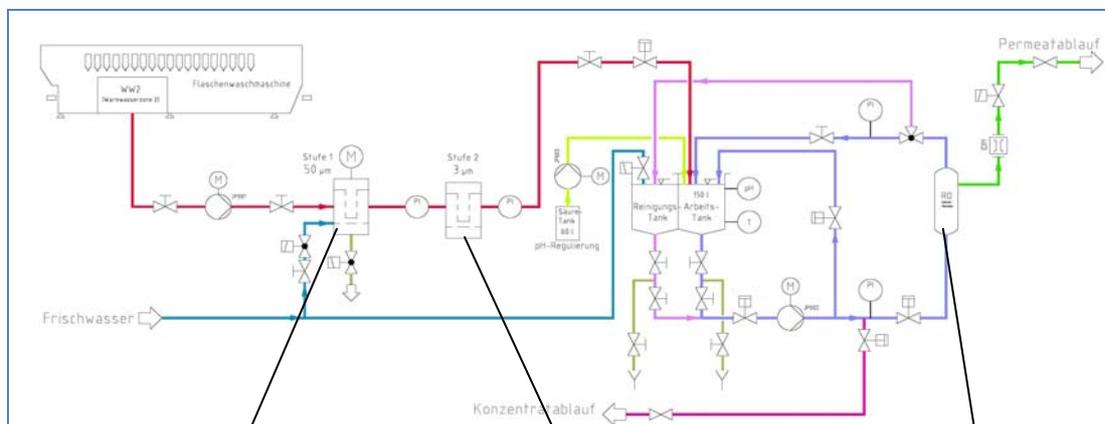


# ABSCHLUSSBERICHT

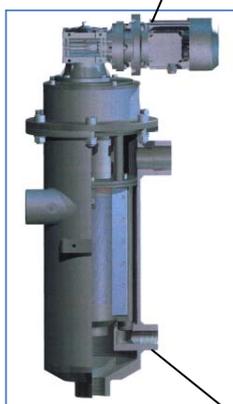


INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

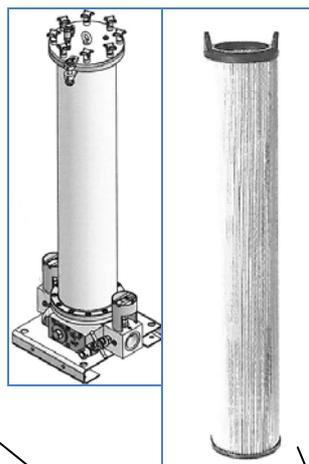
Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement



Verfahrensschema Versuchsaufbau Feldversuch (Darstellung in größerem Format siehe Anhang [9])



rückspülbarer Filter mit 50µm  
Spaltfilter MPF-800/16



3µm-Feinfilter LLK  
(Filterelement und Gehäuse)



Anlagenaufbau mit Polymermembran

Versuchsaufbau Feldversuch in der Fürstenberg Brauerei, Donaueschingen



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 2.5 *Versuchsablauf*

### 2.5.1 *Beschreibung der Versuchsreihe*

Die am 22.04.09 installierte Feldversuchsanlage wurde bis zum Ende des Jahres 2009 an der Waschmaschine 1 der Fürstenberg Brauerei betrieben. Durch die örtliche Nähe zur Fürstenberg Brauerei war eine intensive Betreuung der Versuchsdurchführung durch das Ingenieurbüro Ledwig gegeben. Durch die installierte Steuerung mit Onlinemessung und Datenfernübertragung wurden die wesentlichen Parameter, wie

- aktueller Volumenstrom
- Durchfluss gesamt
- pH-Wert
- Temperaturen
- Betriebsstunden

kontinuierlich erfasst. Durchgeführte Maßnahmen und Optimierungen an der Anlage wurden in einem Betriebstagebuch festgehalten. Der Grad der Vorfiltration wurde entsprechend der Betriebsdaten der Anlage während des Feldversuches modifiziert (siehe 2.5.2). Begleitend wurden Wasserproben an der Anlage entnommen und durch das Institut Dr. Jäger analysiert. Die mikrobiologischen Untersuchungen wurden vom Labor der Brauerei durchgeführt.

Folgende Parameter wurden untersucht:

→ durch das Institut Dr. Jäger

- pH-Wert
- Permanganat- Index
- BSB<sub>5</sub>
- CSB
- Kohlenwasserstoff- Index
- Tenside, nichtionisch

→ durch das Betriebslabor der Fürstenberg-Brauerei

- Standard- Agar
- NBB-Agar
- Würze- Agar / OSF- Agar



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 2.5.2 Problemstellungen im Versuchsablauf

Folgende Problemstellungen sind während des Feldversuches aufgetreten:

- unregelmäßiger Abfüllbetrieb der Fürstenberg Brauerei (teilweise nur 2 Tage/Woche)
- Betriebszeiten der Abfüllanlage (07:00 bis 16:00 Uhr)
  - in Folge der o.g. Prämissen war es nicht möglich, die Versuchsanlage über einen längeren Zeitraum (z.B. 1 Woche) kontinuierlich zu betreiben. Die Anlage musste täglich in den „Stop“-Modus gebracht werden. Der Reinigungsvorgang musste entsprechend oft durchgeführt werden. (Für den Betrieb einer Pilotanlage im Maßstab 1:1 sollte deshalb ein Brauereibetrieb gewählt werden, bei dem der Abfüllbetrieb kontinuierlich über einen Zeitraum von einer Woche durchgeführt werden kann.)
- Reduzierung der Laugebadtemperatur der Reinigungsmaschine von 80°C auf 70°C
  - somit geringere Temperatur im Arbeitstank und in Folge dessen Reduzierung des Durchsatzes (dies ist generell kein Problem, muss jedoch bei der Auslegung der Anlage berücksichtigt werden)
- geringe Standzeiten des Tiefenfilters. Es wurden mehrere Optimierungen an der Versuchsanlage durchgeführt:

### Anlagenkonfiguration I (ursprüngliche Konfiguration)

- Vorfilter Stufe 1 (Spaltfilter) 50 µm
- Vorfilter Stufe 2 (Tiefenfilter) 3 µm
- Umkehrosmoseeinheit (Polymermembran)



Bild 6: zugesetztes 3 µm-Filterelement nach 12.000 L Durchsatz



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## Anlagenkonfiguration II (KW33/09)

- Vorfilter Stufe 1 (Spaltfilter) 25 µm
- Vorfilter Stufe 2 (Tiefenfilter) 1 µm
- Umkehrosmoseeinheit (Polymermembran)

Zur Verlängerung der Standzeit des 3µm-Tiefenfilters wurde versucht, mit einer Reduzierung der Porengröße des abreinigbaren MPF-Filters, Partikel >25µm aus dem Waschwasser herauszufiltern und somit eine Reduzierung der Schmutzfracht von 50% auf ca. 70% zu erreichen. Die Anlage konnte mit dieser Konfiguration jedoch nur für kurze Zeit betrieben werden. Der 25 µm- Vorfilter hatte sich in wenigen Tagen zugesetzt. Firma Seebach arbeitet jedoch an der Modifikation des MPF, um u.a. mit einem höheren Abreinigungsdruck eine optimierte Vorreinigung zu erzielen. Für die Versuchsphase wurde jedoch wieder ein größeres Spaltmaß (50µm) gewählt.

## Anlagenkonfiguration III (KW45/09)

- Vorfilter Stufe 1 (Spaltfilter) 50 µm, Modifikation des abreinigbaren Filters (MPF)
- Vorfilter Stufe 2 (Tiefenfilter) 1 µm
- Erneuerung der Umkehrosmoseeinheit (Polymermembran), um einen ursprünglichen Anlagenzustand zu erhalten
- Herabsetzung der Konzentration des Mediums im Arbeitstank durch Einkürzen der Füllstandsonde

Mit der zuletzt durchgeführten Modifikation der Filterelemente (Anlagenkonfiguration III) Vorfiltration (50 µm, 1 µm) wurde die längste Standzeit erzielt. Die Filteranlage arbeitete über einen Zeitraum von ca. 8 Wochen einwandfrei, d.h.:

- keine Reduzierung der Durchsatzleistung
- Reproduzierbare Durchsatzleistung
- reversibel abreinigbare Polymermembran
- einwandfreie Permeat- Qualität (mikrobiologisch und chemisch)



# ABSCHLUSSBERICHT



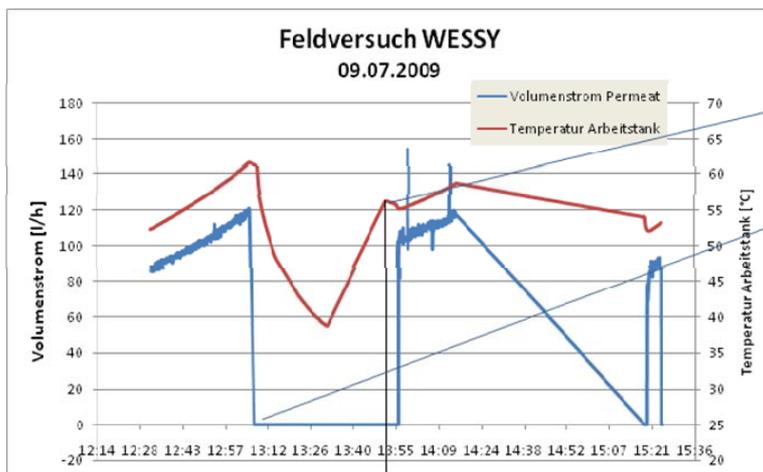
INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 3. Arbeitsergebnisse

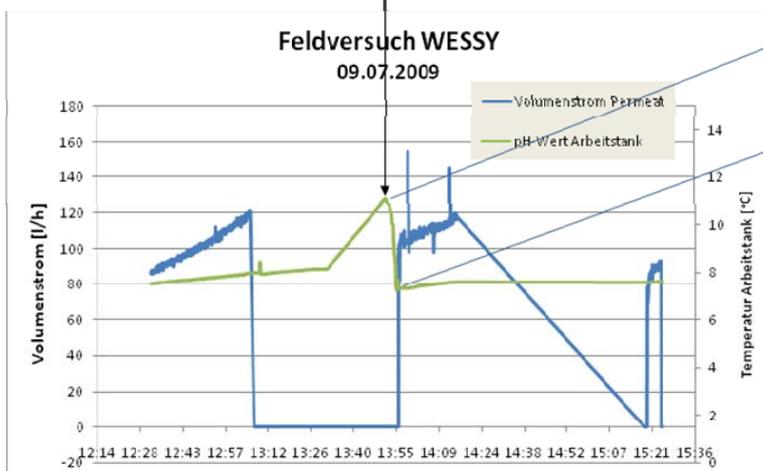
### 3.1 Fluxraten und Standzeiten

Die Permeat- Durchflussraten der Versuchsanlage bewegten sich zwischen 180 und 260 Liter pro Stunde. Während des Filtrationsvorganges stieg der Permeat- Volumenstrom mit Zunahme der Temperatur im Arbeitstank an. Grund für den Anstieg der Temperatur im Arbeitstank ist die Reibungswärme, welche in der Umkehrosmoseeinheit während des Abreinigungsverganges entsteht, die Rückführung des Konzentrates in den Arbeitstank, sowie das abnehmende Volumen im Arbeitstank (Batchbetrieb). Die Zunahme des Volumensstromes mit zunehmender Temperatur spricht für die richtige Auswahl des RO- Filterelementes, welches für Temperaturen bis zu 60°C geeignet ist.



Erreichen der SOLL-  
Temperatur im  
Arbeitstank

Befüllung Arbeitstank  
über Vorfiltration



Start der pH-Wert-  
Einstellung

pH-Wert < 8 erreicht  
Start der Hauptfiltration



Bild 7: Messwerterfassung, Darstellung eines Filtrationsvorganges (1 Batch)

# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

Während der Dauer des Feldversuches wurden insgesamt etwa 30.000 L Permeat gewonnen, woraus jedoch keine Schlüsse auf die Wirtschaftlichkeit und den Betrieb einer Pilotanlage im Maßstab 1:1 gezogen werden dürfen. Wichtig sind die aus dem Feldversuch gewonnenen Erkenntnisse (gemäß Zielsetzung), nämlich:

- Sicherstellung der prinzipiellen Funktionalität der Filtrationsanlage
- Erzielung eines zur Flaschenspülung anstelle von Frischwasser wieder einsatzfähigen Permeates (Kreislaufführung)
  - frei von Tensiden, sonst entsprechend der TVO
  - mikrobiologisch und chemisch einwandfrei

Nach dem Umbau gemäß Anlagenkonfiguration III wurden Durchsätze von > 350 L/h und bei Temperaturen im Arbeitstank von > 60°C von > 400 L/h gemessen. Mit dieser Modifikation (Vorfiltrationsstufen 50 µm und 1 µm) lief die Versuchsanlage vom 02.11.09 bis zum Jahresende 2009 zuverlässig mit zuletzt ca. 250 L/h Durchflussrate. In dieser Zeit musste der Tiefenfilter (1 µm) nicht ausgetauscht werden.

Die eingesetzte Polymer-Hochtemperatur-Wickelmembran war von Versuchsbeginn bis zur KW45 2009 im Einsatz. Daraufhin erfolgte im Zuge der Herstellung der Anlagenkonfiguration III ein Austausch, um einen ursprünglichen Anlagenzustand herzustellen. Beide Membranen haben alle Versuchsphasen „schadlos“ überstanden, d.h.

- es wurden keine Verblockungen festgestellt
- es waren keine Sonderreinigungen erforderlich
- es trat keine Verringerung der Durchflussraten auf
- Reisezeiten (siehe 3.2)

## 3.2 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Wie die nachfolgenden Grafiken zeigen, wurden die Durchflussraten auch nach wiederholten Batch-Vorgängen ohne Zwischenreinigung immer wieder erreicht. Die Höhe der Durchflussrate wurde wesentlich durch die Temperatur (Porenweite der Membran) und die Qualität der Vorreinigung beeinflusst. Allerdings hat eine hohe Wassertemperatur wiederum einen negativen Einfluss auf die Lebensdauer der Membran.



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

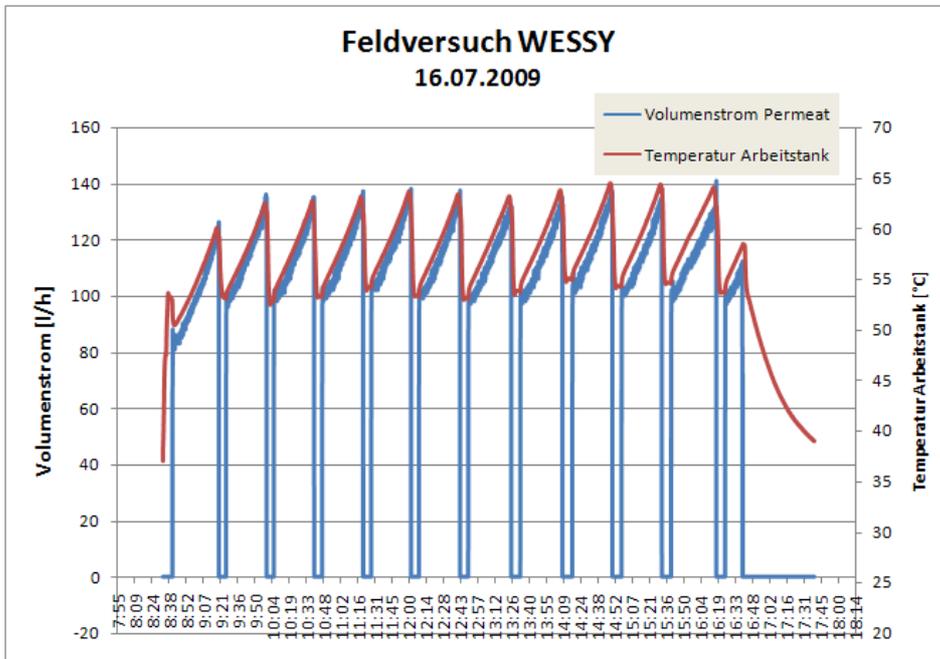


Bild 8: Volumenstrom Permeat zu Beginn des Feldversuches (100-140 L/h). Start der Filtration nach Erreichen der Temperatur und des pH-Wertes (siehe Grafik 10) im Arbeitstank.

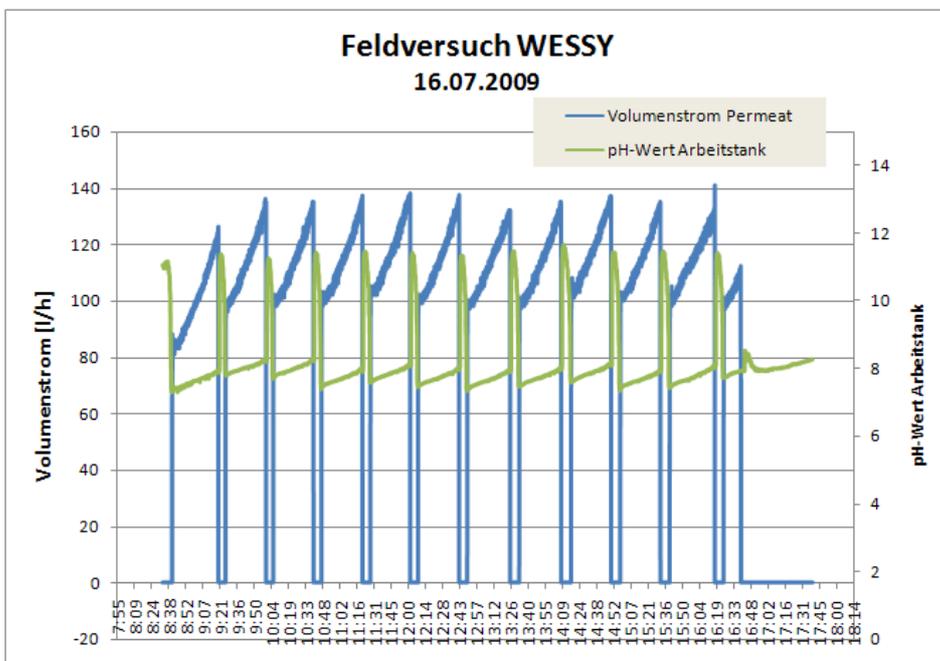


Bild 9: Der Arbeitstank ist 1 bis 2 Minuten gefüllt, danach erfolgt die pH-Wert - Einstellung und dann der Start der Filtration (des nächsten Batches) nach Erreichen des pH-Wertes < 8 im Arbeitstank





# ABSCHLUSSBERICHT

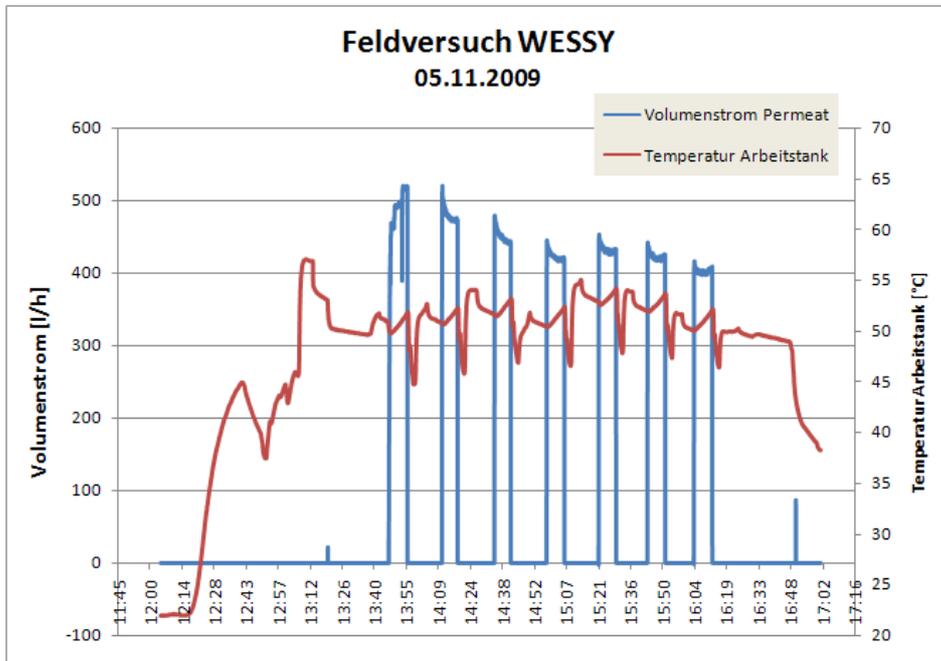


Bild 10: Volumenstrom Permeat nach Reduzierung der Laugetemperatur in der Waschmaschine von 80°C auf 70°C (400 L/h) → geringere Temperaturschwankungen an der Membran reduzieren die Verengung der Membran-Poren (dadurch geringere Membran-Alterung)

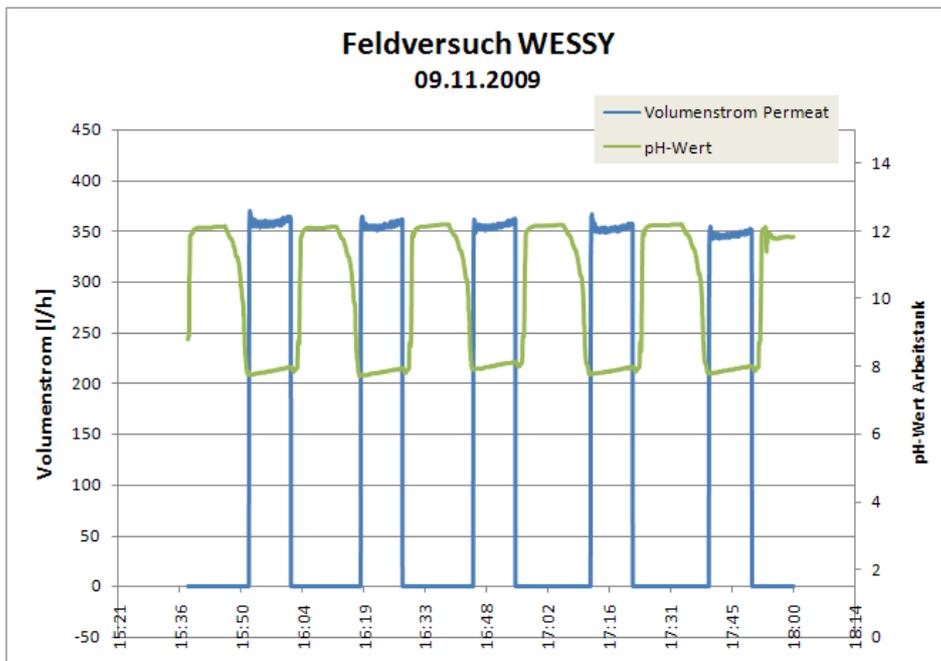


Bild 11: Abstände zwischen Batch-Vorgängen werden größer: Optimierungsbedarf der pH-Wert-Einstellung! Grund: Unzureichende Dosierleistung bzw. geringe Konzentr. Der zur pH-Regulierung eingesetzten Säure



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

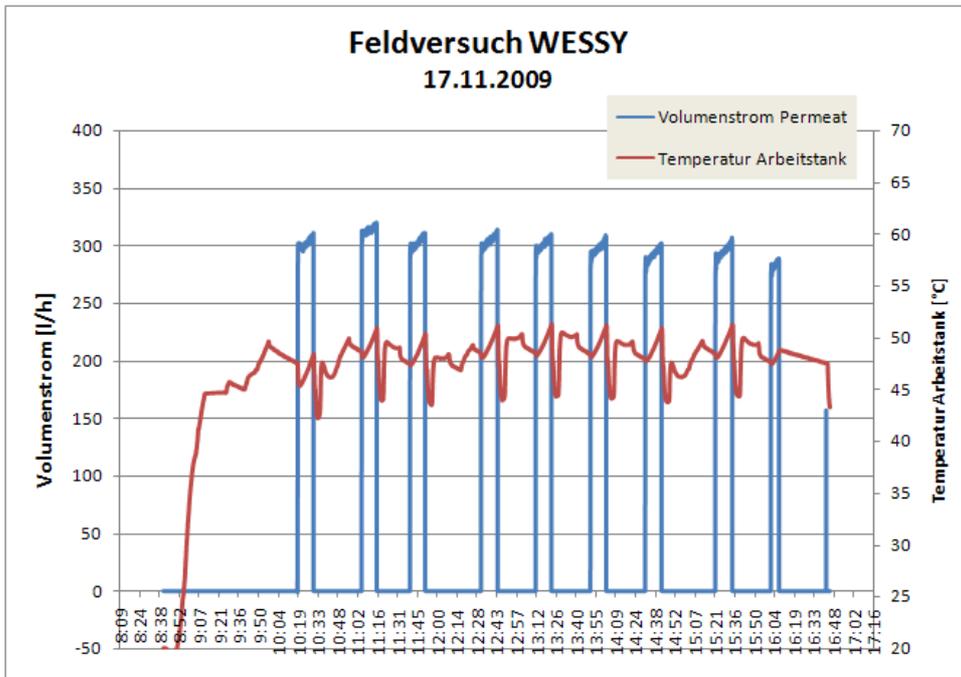


Bild 12: Kontinuierlicher Betrieb der Filtration seit dem 04.11.09

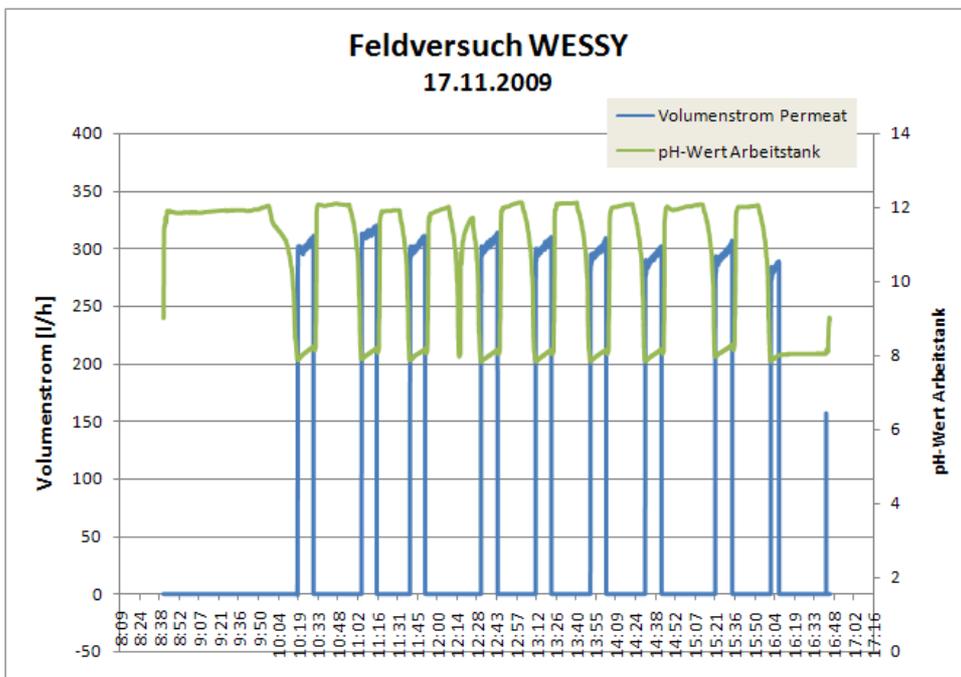


Bild 13: kontinuierlicher Betrieb der Filtration seit dem 04.11.09



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

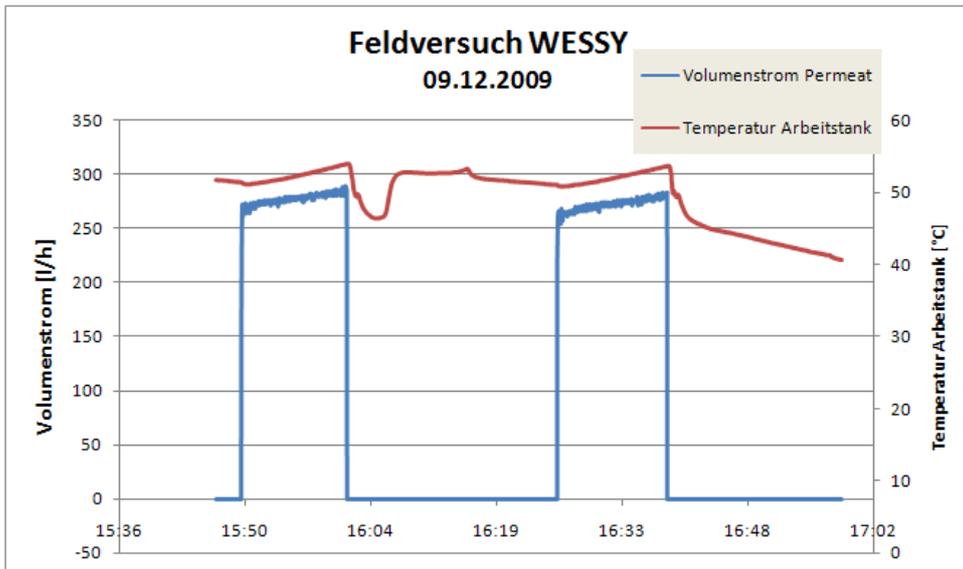


Bild 14: Volumenstrom Permeat stabilisiert sich bei 250-300 L/h

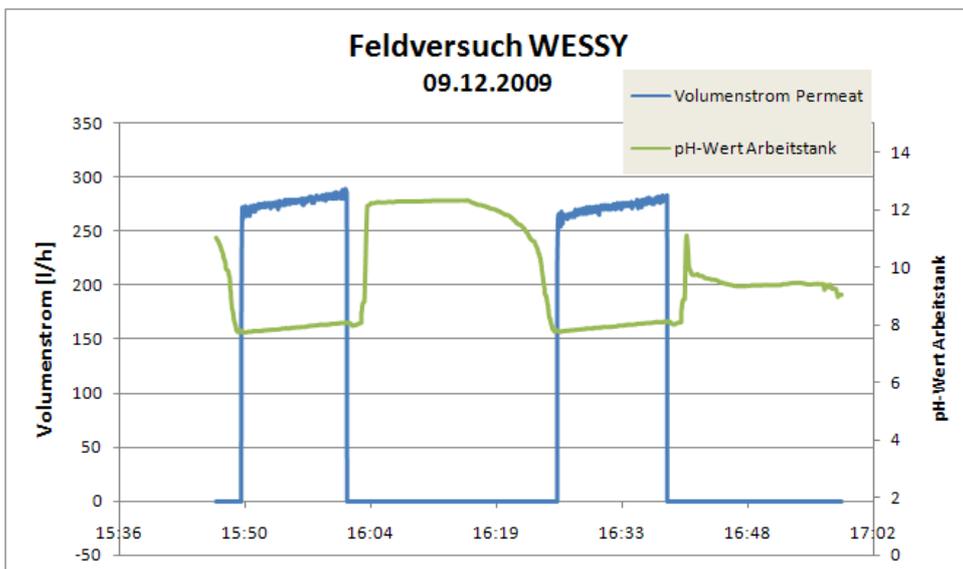


Bild 15: Volumenstrom Permeat stabilisiert sich bei 250-300 L/h. Seit Versuchsbeginn keine Verblockung der Membran





# ABSCHLUSSBERICHT

## 3.3 Reversibilität der Membran

Die eingesetzte Polymer-Hochtemperatur-Wickelmembrane arbeitete über die ganze Versuchsphase hinweg zuverlässig, ohne Anzeichen einer Verblockung. Anfänglich höhere Durchsatzraten (> 400 L/h) stabilisierten sich auf einen „Gebrauchswert“ zwischen 250 bis 300 L/h.

## 3.4 Erreichte Qualitäten des Permeates

Gegenüber der ersten Projektphase wurden alle untersuchten maßgeblichen Parameter bezüglich der Mikrobiologie zu jedem Zeitpunkt des Feldversuches (April 2009 bis Januar 2010) eingehalten. Im Anhang sind die Laborprotokolle der Fürstenbergbrauerei aufgeführt, welche jeweils mit o.B. (ohne Befund) gekennzeichnet sind.

Mikrobiologie Permeat	Untersuchung vom		Ergebnis
Würze-Agar/OSF-Agar	28.04.09	→	ohne Befund
Standard-Agar		→	ohne Befund
NBB-Agar	04.06.09	→	ohne Befund
Standard-Agar	04.06.09	→	ohne Befund
NBB-Agar	09.07.09	→	ohne Befund
Standard-Agar		→	ohne Befund

Die chemischen Analysen wurden durch das unabhängige Institut Dr. Jäger (Eurofins) in Tübingen durchgeführt. Hierbei wurden jeweils Proben vor und nach der Membranfiltration genommen und ausgewertet. Die Analysenergebnisse der gemessenen Parameter sind nachfolgend dargestellt:

Parameter	Waschwasser, unbehandelt		Permeat Versuchsanlage
Aussehen	trüb	→	klar
Farbe	weißlich	→	farblos
Geruch	spezifisch	→	ohne Befund
pH-Wert	11,5-12,2	→	5,7-6,3
Permanganat-Index	171 mg/L	→	14 mg/L
BSB <sub>5</sub>	99 mg/L	→	< 3 mg/L





# ABSCHLUSSBERICHT

CSB	342 mg/L	→	< 15 mg/L
Kohlenwasserstoffindex	< 0,1 mg/L	→	< 0,1 mg/L
Tenside, nichtionisch	6,79-9,5 mg/L	→	ca. 1 mg/L*

\*Zur Herstellung der Plausibilität der labortechnischen Untersuchungen der Tenside im Permeat durch das Labors Dr. Jäger (eurofins) wurden dem Labor Blindproben zur Tensidbestimmung zur Verfügung gestellt. Parallel hierzu wurde dieselbe Frischwasserprobe dem Labor der Firma Weidmüller (Detmold) zur Verfügung gestellt, welche auf Tensidbestimmungen spezialisiert sind. Hierbei kam es zu folgenden Ergebnissen:

Tensidbestimmung von	Dr. Jäger		Weidmüller
Frischwasser (Blindprobe) vom 05.11.09	5,5 mg/L		0,06 mg/L

Weiterhin wurden durch die Firma Weidmüller die Tenside einer Probe Permeat, welche in einer PE-Flasche abgefüllt war und diejenigen einer Probe, welche in einer Glasflasche abgefüllt war gemessen. Die Probe in der Glasflasche wies hierbei eine geringere Tensidbelastung auf.

Tensidbestimmung Labor Weidmüller	Permeat in PE-Flasche		Permeat in Glasflasche
Permeat vom 05.11.09	0,919 mg/L		0,367 mg/L

Das „WESSY“- Konzept sieht vor, das zurück gewonnene Permeat zur vorletzten Spritzung in der Flaschenreinigungsmaschine zu einzusetzen. Da es grundsätzlich bei allen Flaschenwaschmaschinen zu anlagenbedingten Verschleppungen von Tensiden kommt, ist es Vorschrift, die letzte Spritzung mit Frischwasser vorzunehmen. Diese Verfahrensweise ist im „WESSY“- Konzept berücksichtigt.



### 3.5 Wärmerückgewinnung

Neben der Substitution des Frischwassereinsatzes durch Rückführung des Permeates zur vorletzten Spritzung der Waschmaschine ist auch eine Reduzierung von Primärenergie verbunden. Damit werden an einer Anlage mit einer Leistung von 50.000 Flaschen je Stunde und einem Flaschenanteil von 800.000 hl/Jahr zusätzlich rund 500.000 kWh/Jahr oder rund 50.000 L Heizöl jährlich eingespart.



# ABSCHLUSSBERICHT

Die Temperatur des Permeates beträgt vor der Rückführung in die Anlage ca. 40°C. Zur vorletzten Spritzung darf die Temperatur maximal 25°C betragen (Gefahr von Glasbruch). Deshalb ist es vorgesehen, durch Kühlung die Permeattemperatur abzusenken. Die erforderliche Kühlleistung beträgt ca. 175 kW (bei einer Laugebadtemperatur von 70°C in der Waschmaschine). Um diese Wärme nicht ungenutzt an die Umgebung abzugeben, kann damit die Heizung der Kastenwaschmaschine betrieben werden, zumal diese Anlage zeitgleich mit dem Betrieb der Reinigungsmaschine eingesetzt wird (maximal 175 kW x 3.400 Betriebsstunden/Jahr → 595.000 kWh/Jahr bzw. rund 60.000 Liter Heizöl). Aber auch andere Einsatzzwecke, z.B. Vormwärmprozesse sind denkbar.

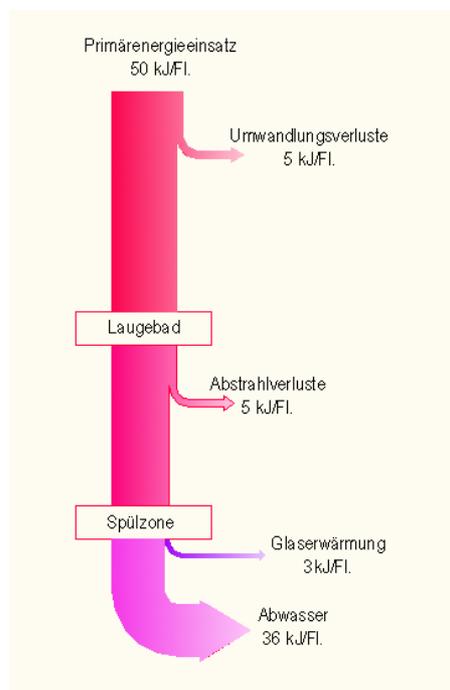


Bild 16: Thermische Energieführung einer konventionellen Flaschenreinigungsmaschine (Frischwasserbedarf 320 mL/Fl.)

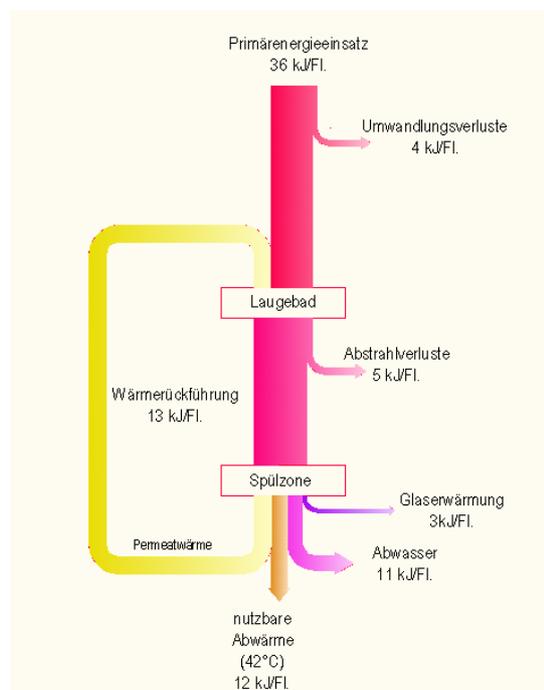


Bild 17: Thermische Energieführung bei Kreislaufführung und Permatrückkühlung auf 25°C



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

## 3.6 Anwendungsgebiete

Der Einsatz des „WESSY“- Konzeptes (Kreislaufführung von Prozesswärme und Prozesswasser) wird neben der Getränkeindustrie für

■ Flaschenreinigungsmaschinen  
in folgenden Anwendungsgebieten gesehen:

- Lebensmittelindustrie
  - z.B. Teigwarenherstellung (Kreislaufführung des Wassers zum Glätten von Nudelteig)
  - Molkereien (1-3-facher Wasserbedarf der verarbeiteten Milchmenge für Reinigung, Flaschenwaschmaschine)
- Textilindustrie
  - Waschprozesse
  - Abscheidung von Fasern und Partikeln
- Maschinenbau
  - Waschprozesse
  - Trennung von 2-Stoff-Gemischen

## 4. Wirtschaftlichkeit

Durch die Auswahl der Anlagenkomponenten entsprechend des Feldversuches (2-stufige Vorreinigung, RO-Einheit) kann ein zuverlässiger und wirtschaftlicher Anlagenbetrieb mit hohen Standzeiten erzielt werden. Während des Feldversuches wurden, wie unter Punkt 3.1 erwähnt, etwa 30 m<sup>3</sup> Waschwasser mit einer Permeatleistung von 250 L/h filtriert. Bei einer Anlage im Maßstab 1:1 muss die Membraneinheit für eine geforderte Fluxrate von >10m<sup>3</sup>/h angepasst werden.

Die Vorfiltration, bestehend aus dem abreinigbaren Spaltfilter und dem 1µm-Tiefenfilter, kann in der bestehenden Konfiguration übernommen werden. Aus Redundanzgründen sollten der Spalt- und Tiefenfilter um eine Einheit erweitert werden. Um die Anzahl der für eine Pilotanlage erforderlichen Membraneinheiten zu erhalten, kann die Anlagengröße der Feldversuchs-Anlagen nicht einfach durch upscaling bestimmt werden. Der Lieferant der Membran geht von einer Stückzahl von 12 Polymer-Hochtemperatur-Wickelmembranen für ein Upscaling im 1:1-Maßstab aus.

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit wurde eine Reinigungsmaschine mit einer Leistung von 50.000 Flaschen je Stunde als Basis unterstellt. Aus der Warmwasserzone II sind in diesem Falle stündlich 10 m<sup>3</sup>/h zu entnehmen, was eine Permeatgewinnung und somit ei-



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

ne Substitution von Frischwasser in Höhe von 32.000 m<sup>3</sup> im Jahr ergibt. Mit einem Abwasserpreis in Höhe von 3,00 €/m<sup>3</sup> (Wasser = 0,00 €/m<sup>3</sup>) sowie einem Erdgaspreis von 5,0 Ct/kWh ergibt sich ein jährliches Einsparpotential Wasser/Abwasser in Höhe von rund 120.000 € im Jahr. Demgegenüber wurden die Betriebskosten gegenübergestellt, welche sich zusammensetzen aus

- Stromkosten für Pumpen, Ventile, Steuerung
- Erneuerung des abreinigbaren Spaltfilter 50µm
- Filterwechsel 1µm-Tiefenfilter
- Austausch Polymer-Hochtemperatur-Wickelmembrane
- Reinigung Membran (Reinigungsmittel)
- pH-Wert- Einstellung von ca. 12 auf 8 (Säure)
- Handlingkosten (Personal)
- Wartung / Instandhaltung

Wesentlich wird die Wirtschaftlichkeit der Anlage beeinflusst durch die Standzeit und den Wechsel des 1µm-Tiefenfilters. Zur Verlängerung der Standzeit des Filterelementes wurde, wie unter 2.5.2 erwähnt, versucht, durch die Reduzierung der Porengröße des abreinigbaren Filters von 50 µm auf 25 µm den Tiefenfilter zu entlasten und dessen Standzeit zu erhöhen. Der Spaltfilter war jedoch nach relativ kurzer Zeit zugesetzt, eine Abreinigung nicht möglich. Nach Aussage der Firma Seebach, wurde der Spaltfilter mittlerweile insoweit modifiziert, dass auch ein Betrieb mit 25 µm bei erhöhtem Abreinigungsdruck möglich ist. In der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde unterstellt, dass der Tiefenfilter alle 5 Tage gewechselt wird.

Die jährliche Einsparung abzüglich der Betriebskosten beträgt somit ca. 70.000 Euro. Bei einer geschätzten Investition in Höhe von 250.000 Euro ergibt sich eine Amortisation von rund 4 Jahren. Die detaillierte Wirtschaftlichkeitsrechnung ist im Anhang [1] aufgeführt.

## 5. Fazit

Mit dem Feldversuch bei der Fürstenberg Brauerei wurden die in der Projektphase I aufgetretenen Problemstellungen gelöst. Die gesetzten Ziele (siehe 1.3), wie

- Verbesserung der Vorreinigung
  - Abscheidung der Papierpartikel (Etikettenreste)
- Beseitigung der Membranverblockung
  - Abreinigbarkeit der Entschäumer
- Verlängerung der Membran-Reisezeiten
  - einwandfreie Permeatqualität



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

wurden erreicht, das bedeutet, die eingesetzte 2-stufige Vorreinigung hat sich im Feldversuch unter Betriebsbedingungen bewährt.

Auf Grund der Betriebsabläufe (Abfüllplanung) der Fürstenberg Brauerei war ein intermittierender Betrieb der Versuchsanlage die Folge, d.h. die Anlage musste oft zwischengereinigt, stillgesetzt und wieder angefahren werden. Diese Fahrweise stellte für die Anlage eine zusätzliche Beanspruchung dar, da sich diese wiederholenden Abläufe negativ auf die Lebensdauer / Standzeit der Filterkomponenten auswirkten (chemische und mechanische Belastungen, Temperaturschwankungen). Andererseits spiegelt eine solche Betriebsweise die tatsächlichen Bedingungen im betrieblichen Alltag wider.

Insofern sind die erzielten Ergebnisse mit der beschriebenen Versuchsanordnung als belastbar und repräsentativ anzusehen.

Zu keinem Zeitpunkt des Feldversuches kam es zu einer Verblockung der eingesetzten Polymer-Hochtemperatur-Wickelmembrane. Wie unter Punkt 4 dargestellt, bestimmt die Standzeit der Vorreinigung im Wesentlichen die Wirtschaftlichkeit und somit Realisierbarkeit des „WESSY“- Konzeptes. Mit dem von der Firma Seebach entwickelten abreinigbaren MPF- Filter wurde die richtige Auswahl getroffen.

Die Analysen des Permeats zeigen sowohl in mikrobiologischer als auch in chemischer Hinsicht positive Ergebnisse auf. Der Versuch hat somit ergeben, dass das gewonnene Permeat zur Kreislaufführung (als Ersatz von Frischwasser) eingesetzt werden kann. Dadurch ergeben sich Einsparpotentiale in Bezug auf den Frischwassereinsatz bzw. Abwasseranfall als auch auf den Energieeinsatz in der Flaschenreinigungsmaschine.

Aus dem Feldversuch wurden Erkenntnisse gewonnen, die bei Planung, Bau und Betrieb einer Pilotanlage zu beachten sind. Diese sind:

- Absenkung der Laugebadtemperatur (somit auch Absenkung der Temperatur des aufzubereitenden Kreislaufwassers aus Warmwasser-Zone II)
- Ausschleusung von Partikelgrößen  $\ll 50 \mu\text{m}$  durch einen abreinigbaren Spaltfilter (ggfls. 2. Vorfiltrationsstufe)
- Inline-Regulierung des pH-Wertes
- Herabsetzung der Konzentration im Arbeitstank
- redundante Ausführung wesentlicher Anlagenkomponenten, z.B.
  - Tiefenfilter
  - Pumpen
  - Arbeitstank (z.B. 2-Kammer-Arbeitstank)



# ABSCHLUSSBERICHT



INGENIEURBÜRO  
LEDWIG

Technische Betriebsberatung  
Projektmanagement

Das Ziel eines Kreislaufsystems für Prozesswärme und Prozesswasser wurde erreicht. Die technischen Voraussetzungen für den Bau einer Pilotanlage als dauerhafter Bestandteil einer Flaschenreinigungsmaschine im regulären Betrieb sind somit gegeben.

Die Entwicklung der Preise für Primärenergie und Wasser-/Abwasser spricht für den Einsatz des Kreislaufsystems. Da in diesen Bereichen keine Kostenreduzierung zu erwarten ist, wird sich die Wirtschaftlichkeit dieses Systems in Zukunft noch günstiger darstellen. Neben der Wirtschaftlichkeit zugunsten der Kreislaufführung von Prozesswärme und Prozesswasser ist jedoch die nachhaltige Ressourcenschonung zu nennen, da der Einsatz der Rohstoffe Wasser und Primärenergie auf Dauer nennenswert reduziert wird.

Damit wird einerseits den Anforderungen der Umweltpolitik hinsichtlich der Ressourcenschonung entsprochen, andererseits werden die Vorgaben der Anlagenbetreiber nach sowohl wirtschaftlichen als auch ökologisch sinnvollen Systemlösungen erfüllt. Insofern kann von einer hohen Akzeptanz zugunsten des entwickelten Kreislaufsystems ausgegangen werden, welche wesentlich ist für die Vermarktung des „WESSY“- Konzeptes.

Donaueschingen, 29.01.2010

Ingenieurbüro  
Dipl.-Ing. J. Ledwig

## 6. Anhang

- [1] Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- [2] Thermische Bilanz Flaschenwaschmaschine mit T(Lauge=70°C)
- [3] Thermische Bilanz Flaschenwaschmaschine mit T(Lauge=80°C)
- [4] Mikrobiologische Analysen Fürstenberg Brauerei
- [5] chemische Analysen Dr. Jäger
- [6] Tensidbestimmung Fa. Weidmüller
- [7] Partikelverteilung Waschwasser (FH Furtwangen)
- [8] Ermittlung Säure für pH-Wert- Einstellung
- [9] Verfahrensschema Versuchsaufbau



## WESSY

## Wirtschaftlichkeitsabschätzung und Investitionsrechnung

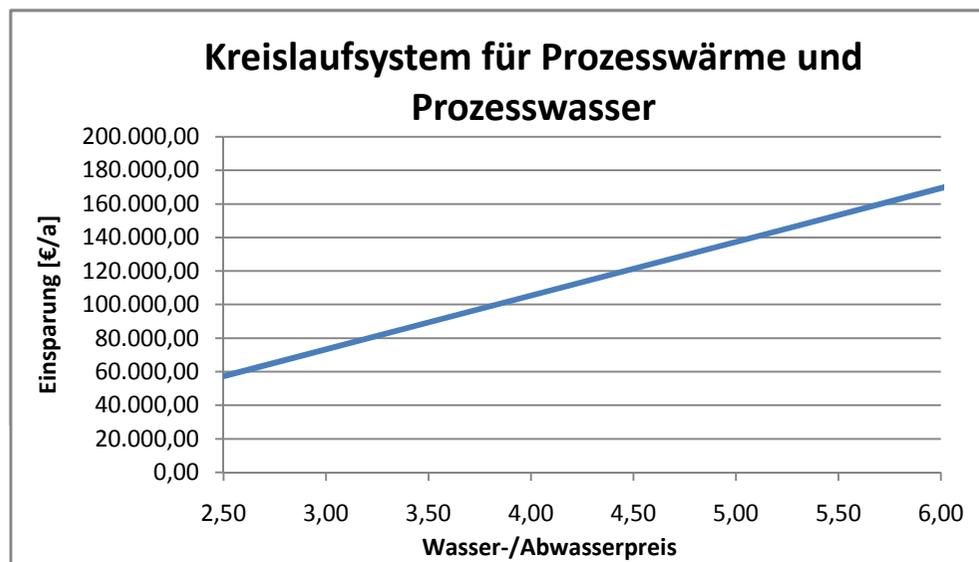
<b>Auslegungsgrundlage:</b>			
Ausstoß Brauerei		1.000.000,00	hl/a
Anteil Flaschenabfüllung		800.000,00	hl/a
<b>Ermittlung Einsparpotential</b>			
Reinigungsleistung Flaschenwaschmaschine		50.000	Fl./h
Verbrauch Reima, konventionell		0,30	l/Fl.
entspricht		15,00	m³/h
Gebindegröße		0,50	l/Fl.
Anzahl Flaschen		160.000.000	Fl./a
Einsparpotential		0,20	l/Fl.
Einsparpotential		32.000	m³/a
Abwasseranfall moderne Brauerei gesamt		3,00	hl/hl VB
Einsparpotential spezifisch		0,40	hl/hl VB
Dampfbedarf		50,00	kJ/Fl.
entspricht		694	kW
<b>Betriebskosten Wasseraufbereitung</b>			
Prozessparameter Umkehrosiose			
Permeatmenge		32.000	m³/Jahr
Schichtdauer		8,00	h
Schichten (Jahresmittel)		1,70	pro Tag
Arbeitstage pro Jahr		250,00	d/a
Betriebsstunden		3.400	pro Jahr
Permeatfluss		9,4	m³/h
Recyclingfaktor		90%	
Rohwasser		10,5	m³/h
elektrische Anschlussleistung			
Pumpe Vorfiltration	10 m³/h	2,00	kW
Pumpe Membranfiltration	10 m³/h	7,50	kW
Schaltschrank, Feldgeräte		2,50	kW
Summe installierte Leistung		12,00	kW
elektrische Arbeit		40.800,00	kWh/a
Stromkosten		12,00	Ct/kWh
		<b>4.896,00</b>	<b>€/Jahr</b>
<i>Vorreinigung</i>			
<b>50µm-Spaltfilter (abreinigbar)</b>			
Durchsatz Vorfiltration 50 µm		12,00	m³/h
Bedarf Vorfiltration		1,00	Module
Standzeit Spaltfilter	alle	120,00	Monate
		10,00	Jahre
Kosten Spaltfilter		8.500,00	€/Modul
jährliche Kosten Spaltfilter		<b>850,00</b>	<b>€/Jahr</b>
<b>1µm-Feinfilter (Metallfilter mit Glasfaservlies)</b>			
Durchsatz je Filterelement 1µm-Filter		12,00	m³/h
Filterbedarf 1µm		1,00	Module
Standzeit Filterelement	alle	5,00	Tage
Membranmaterial		422,00	€/Modul
Membrankosten		<b>30.384,00</b>	<b>€/Jahr</b>
<i>Umkehrosiose</i>			
<b>Polymer-Hochtemperatur-Wickelmembrane</b>			
Durchsatz je Membranelement		0,20	m³/h
Filterbedarf 3µm		12,00	Module
Standzeit Filterelement	alle	60,00	Monate
		5,00	Jahre
Membranmaterial		1.800,00	€/Modul
Membrankosten		<b>4.320,00</b>	<b>€/Jahr</b>
<i>Reinigung Membrane</i>			

Volumen Arbeitstank Pilotanlage alkalisch (Membrane)	500 L	z.B. 2 x 250 L redundant
Konzentration Reinigungsmittel	10,00 g/L	
Menge Reinigungsmittel je Reinigungsvorgang	5,0 L	
Anzahl Reinigungen im Jahr	12 Module	
Reinigungszyklus je Modul	alle 90 h	
	453 Reinigungen im Jahr	
Bedarf Reinigungsmittel	2.266,67 L/a	
Kosten Reinigungsmittel	0,35 €/L	
	<b>793,33 €/Jahr</b>	
<i>pH-Wert-Einstellung (Dosage von Schwefelsäure)</i>		
Waschwasser, einzustellen	35.556 m³/Jahr	
pH von	12,1	
pH auf	8,0	
Konzentration Schwefelsäure	200,0 g/L	
Menge Schwefelsäure	219 L/a	
Preis Schwefelsäure	2,50 €/L	
	<b>548,74 €/Jahr</b>	
Bedienpersonal	<b>5.000,00 €/Jahr</b>	
Wartung und Instandhaltung	2,00% Investition/Jahr	
Kosten	<b>5.000,00 €/Jahr</b>	
<b>Wärmerückgewinnung</b>		
Permeatmenge (Rückgewinnung)	32.000,00 m³/a	
Reduzierung Primärenergieeinsatz spezifisch	11,85 kJ/Flasche	
abgefüllte Flaschen	160,00 Mio./Jahr	
Wärmeeintrag in Anlage (Rückgewinnung)	526.667 kWh/a	
Nutzung Wärme aus Permatkühlung nicht berücksichtigt		Optionen: Nutzung zu Vorwärmzwecken Brauchwasser Nutzung als Nachspeisung in Kastenwascher
Wärmerückgewinnung gesamt	526.667 kWh/a	
Erdgaspreis	5,00 Ct/kWh	
Wirkungsgrad Kesselanlage	95,0%	
Hi/Hs	95,0% ECO	
Wärmepreis	5,54 Ct/kWh	
Einsparung Wärmerückgewinnung	<b>29.178,21 €/Jahr</b>	
<b>Investition</b>		
Anlage	<b>250.000,00 €</b>	
Nutzungsdauer	10 Jahre	
Kapitalzins	0	
Annuität	<b>33.306,15 €/Jahr</b>	
<b>Summe, Verbrauchswerte</b>	<b>51.792,07 €/Jahr</b>	
Kosten, Permeat	- €/m³	
Kosten, Wasser/Abwasser	3,00 €/m³	
Einsparung Wasser/Abwasser	<b>96.000,00 €/Jahr</b>	
Einsparung Wärmerückgewinnung	<b>29.178,21 €/Jahr</b>	
Einsparung gesamt	<b>125.178,21 €/Jahr</b>	
Einsparung abzgl. Betriebskosten	<b>73.386,14 €/Jahr</b>	
Zinssatz	5%	
Amortisation	<b>3,83 Jahre</b>	

## Anhang [1] Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

## WESSY

Wasser-/Abwasserpreis*	Einsparung [€/Jahr]	Amortisation [Jahre]
3,00	73.386,14	3,83
2,50	57.386,14	5,04
2,65	62.186,14	4,61
2,80	66.986,14	4,24
2,95	71.786,14	3,92
3,10	76.586,14	3,66
3,25	81.386,14	3,42
3,40	86.186,14	3,22
3,55	90.986,14	3,03
3,70	95.786,14	2,87
3,85	100.586,14	2,72
4,00	105.386,14	2,59
4,15	110.186,14	2,47
4,30	114.986,14	2,36
4,45	119.786,14	2,26
4,60	124.586,14	2,17
4,75	129.386,14	2,08
4,90	134.186,14	2,00
5,05	138.986,14	1,93
5,20	143.786,14	1,87
5,35	148.586,14	1,80
5,50	153.386,14	1,75
5,65	158.186,14	1,69
5,80	162.986,14	1,64
5,95	167.786,14	1,59
6,10	172.586,14	1,55
6,25	177.386,14	1,50



Anhang [1] Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Szenario Wasser-/Abwasserpreis)

# WESSY water and energy saving system

Simulation der thermischen Verhältnisse in der Flaschenreinigungsmaschine  
Auf der Basis von Energie und Massenflussbilanzen

Parameter, Randbedingungen:		
P 01	c, Wasser	4,18 kJ/(kg*K)
P 02	T, Frischwasser	12,00 °C
P 03	Dichte, Wasser	0,000998 kg/ml
P 04	c, Flaschen	0,80 kJ/(kg*K)
P 05	m, Flaschen	0,38 kg/Flasche
P 06	T, Leergut ein	20,00 °C
P 07	c, Fl-Träger	0,65 kJ/(K*Flasche)
P 08	T, Leergut aus	30,00 °C
P 09	Permeafaktor	65%
P 10	V, Spülwasser	318,65 ml/Flasche
P 11	T, Lauge 1	70,00 °C
P 12	Q-Verlust, Lauge 1	165,000 kJ/h *)
P 13	Q-Verlust, Lauge 2	75,500 kJ/h *)
P 14	Ausbeute, RO	75% (min. P-Faktor)
P 15	T, Permeatrücklauf	25,00 °C
P 16	delta T min. WTI(w)	3,00 K
P 17	delta T min. WTI(k)	3,00 K
P 18	Flaschendurchsatz	50,000 Flaschen/h
Wärmeeintrag aus Lauge:		
P 19	nach FW	28,00 kJ/l *)
P 20	nach Permeat	15,00 kJ/l *)
P 21	nach KW	6,50 kJ/l *)

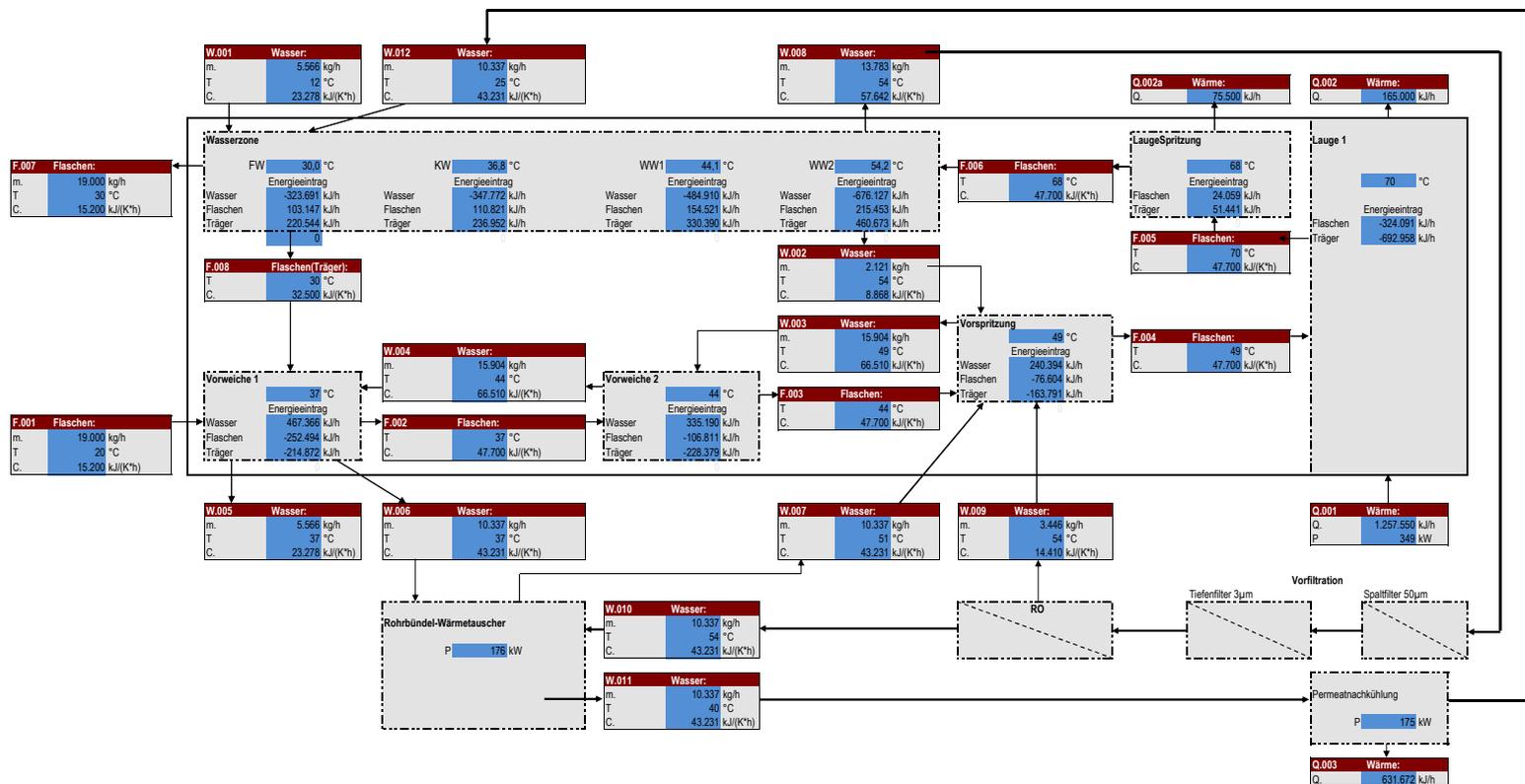
\*) Schätzung auf Grund der Aufnahme und der Herstellerdaten

Ergebnis:		
Nachheizung	25	kJ/Flasche
Permeatkühlung	175	kW
V, Frischwasser	112	ml/Flasche

Ziel: Q.003 so klein wie möglich

Annahme: ideale Wärmeübergänge  
T, Fl. = T, Tr.

FW Frischwasser  
KW Kaltwasser  
WW1 Warmwasserzone 1  
WW2 Warmwasserzone 2



Anhang [2] Thermische Bilanz Flaschenreinigungsmaschine, Laugetemperatur = 70°C

# WESSY water and energy saving system

Simulation der thermischen Verhältnisse in der Flaschenreinigungsmaschine  
Auf der Basis von Energie und Massenflussbilanzen

Parameter, Randbedingungen:		
P 01	c, Wasser	4,18 kJ/(kg*K)
P 02	T, Frischwasser	12,00 °C
P 03	Dichte, Wasser	0,000998 kg/ml
P 04	c, Flaschen	0,80 kJ/(kg*K)
P 05	m, Flaschen	0,38 kg/Flasche
P 06	T, Leergut ein	20,00 °C
P 07	c, Fl-Träger	0,65 kJ/(K*Flasche)
P 08	T, Leergut aus	30,00 °C
P 09	Permeafaktor	65%
P 10	V, Spülwasser	343,24 ml/Flasche
P 11	T, Lauge 1	80,00 °C
P 12	Q-Verlust, Lauge 1	165,000 kJ/h *)
P 13	Q-Verlust, Lauge 2	75,500 kJ/h *)
P 14	Ausbeute, RO	75% (min. P-Faktor)
P 15	T, Permeatrücklauf	25,00 °C
P 16	delta T min. WTT(w)	3,00 K
P 17	delta T min. WTT(k)	3,00 K
P 18	Flaschendurchsatz	50,000 Flaschen/h
Wärmeeintrag aus Lauge:		
P 19	nach FW	28,00 kJ/l *)
P 20	nach Permeat	15,00 kJ/l *)
P 21	nach KW	6,50 kJ/l *)

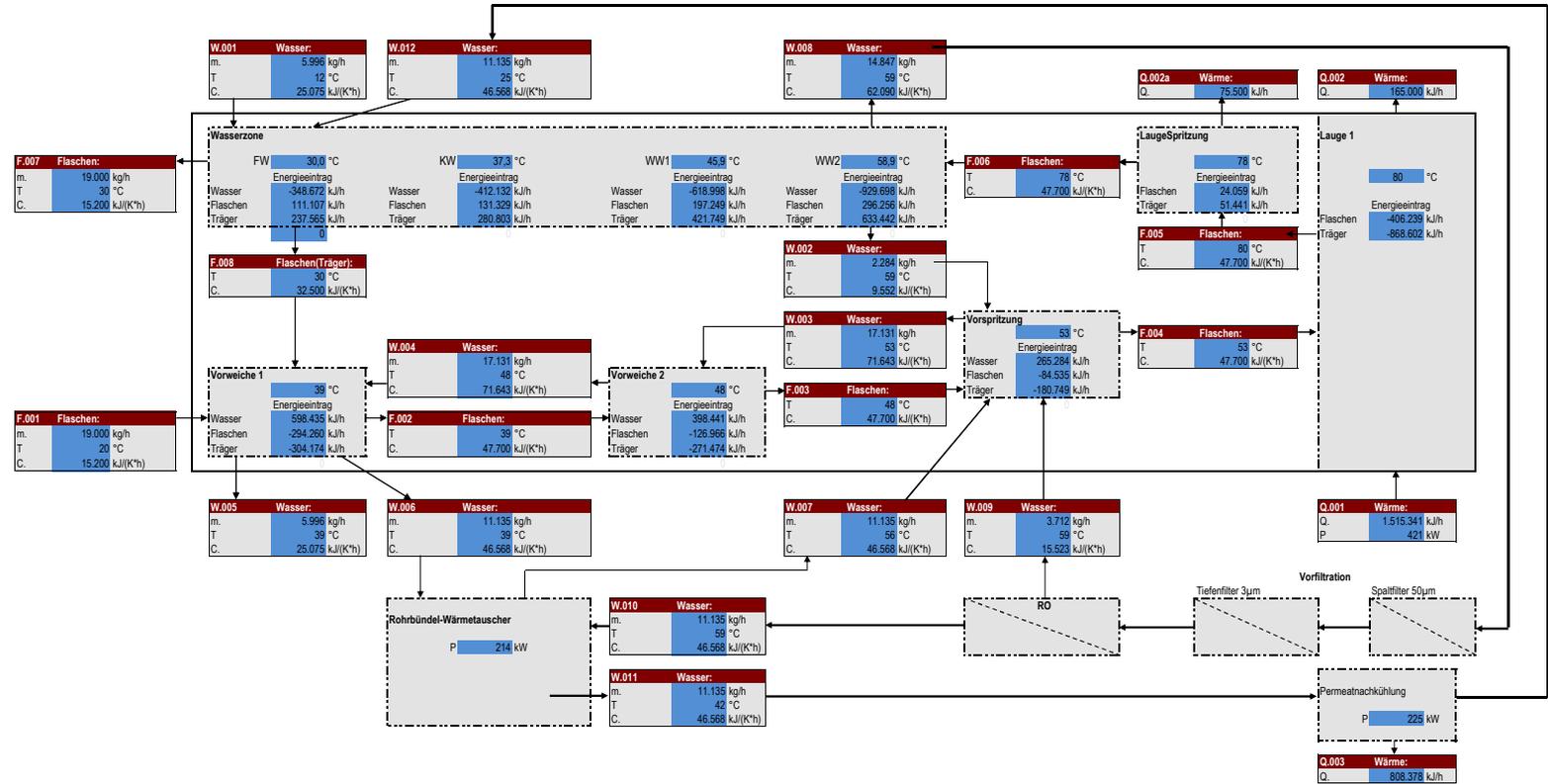
\*) Schätzung auf Grund der Aufnahme und der Herstellerdaten

Ergebnis:	
Nachheizung	30 kJ/Flasche
Permeatkühlung	225 kW
V, Frischwasser	120 ml/Flasche

Ziel: Q.003 so klein wie möglich

Annahme: ideale Wärmeübergänge  
T, Fl. = T, Tr.

FW Frischwasser  
KW Kaltwasser  
WW1 Warmwasserzone 1  
WW2 Warmwasserzone 2



Anhang [3] Thermische Bilanz Flaschenreinigungsmaschine, Laugetemperatur = 80°C



# Qualitätsmanagement

## Biologisches Labor

### Probenprotokoll (bitte in Druckschrift ausfüllen)

Eingangsdatum <b>28.4.09</b>	Eingangs-Nr. <b>863</b>
---------------------------------	----------------------------

Untersuchungs- umfang	I	NBB-B/NBB-C	IV	Standard-Agar
	II	Standprobe	V	NBB-Agar
	III	Würze-Agar/OSF-Agar	VI	Lact.-Pept. Bouillon

Probenahme-Gruppe	Probenahme-Nummer	Probenahme-Datum / Uhrzeit	Probennehmer	Probenbezeichnung (Angabe von z.B. Sorte, Sud.-Nr., Abl.-Nr., Tank-Nr., Anlage, Lieferdatum usw.)	Untersuchungsergebnis					
					I	II	III	IV	V	VI
S		27.04.09 12 <sup>00</sup>	Ph	1 Wasseraufbereitungsanlage WMI			D	90		
		27.04.09 12 <sup>00</sup>	Ph	2 "			D	2K5		
		28.04.09 6 <sup>15</sup>	Ph	3 "			D	90		
		28.04.09 12 <sup>00</sup>	Ph	4 "			D	90		
				5						
				6						
				7						
				8						
				9						
				10						

Durchgeführte Untersuchungen	BL	LQM	Prod.	Bemerkungen / Maßnahmen
	I			
	II			
	III			
	IV	4.5		
	V	3.5		
	VI			

Protokoll bitte sofort zurück an Biol. Labor!



# Qualitätsmanagement

## Biologisches Labor

### Probenprotokoll (bitte in Druckschrift ausfüllen)

Eingangsdatum <b>9.7.09</b>	Eingangs-Nr. <b>7506</b>	I <u>NBB-B/NBB-C</u>	IV <u>Standard-Agar</u>
		II <u>Standprobe</u>	V <u>NBB-Agar</u>
		III <u>Würze-Agar/OSF-Agar</u>	VI <u>Lact.-Pept. Bouillon</u>

Probenahme-Gruppe	Probenahme-Nummer	Probenahme-Datum / Uhrzeit	Probenehmer	Probenbezeichnung (Angabe von z. B. Sorte, Sud.-Nr., Abt.-Nr., Tank-Nr., Anlage, Lieferdatum usw.)	Untersuchungsergebnis					
					I	II	III	IV	V	VI
		09.07.09 8:00	<i>DK</i>	1 WM AI Wasseraufbereitung				<i>0</i>	<i>0</i>	
				2						
				3						
				4						
				5						
				6						
				7						
				8						
				9						
				10						

Durchgeführte Untersuchungen	BL	LQM	Prod.	Bemerkungen / Maßnahmen
	I			
II				
III			<i>Dr.</i>	
IV	<i>13.7 S</i>			
V	<i>15.7 S</i>			
VI				

Protokoll bitte sofort zurück an biol. Labor!



Institut Prof. Dr. Jäger

16. März 2009

Institut Prof. Dr. Jäger GmbH - Ernst-Simon-Str. 2-4 - 72072 Tübingen

Ing. Büro  
Dipl. Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen

Waschwasser Reinigungsmaschine

Telefon: 0771/14000 Fax:

**PRÜFBERICHT**

Tübingen, 06.03.2009 / si  
Es schreibt Ihnen Frau Singer (7007-47)

**Untersuchung im Rahmen der Eigenkontrolle**

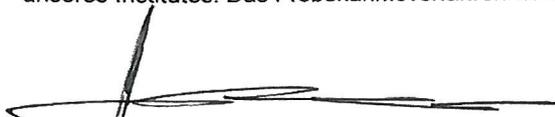
**Art des Auftrages:** Abwasseruntersuchung  
**Bestellnummer:** Projekt: "Wessy"  
**Auftragsnummer :** 109-00997  
**Kundennummer:** 08258  
**Tagebuchnummer:** P109-02280  
**Entnahmestelle:** Wasserprobe / Original / Membran  
**Probenahme / -nehmer:** 20.02.2009 Entnommen durch Auftraggeber  
**Probeneingang:** 20.02.2009  
**Untersuchungsbeginn:** 20.02.2009 **Untersuchungsende:** 06.03.2009

**ERGEBNISSE**

Untersuchungen im Labor			
Parameter	Einheit	Prüfergebnis	Prüfverfahren
Aussehen		trüb	sensorisch
Farbe		weißlich	sensorisch
Geruch		spezifisch	sensorisch
pH-Wert		11,5	DIN 38404-5 (C 5)
Permanganat-Index	mg/l	171	DIN EN ISO 8467 (H 5)
BSB5 mit ATH-Zusatz	mg/l	99	DIN EN 1899-1 (H 51)
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	mg/l	342	DIN 38409-41 (H 41)
Kohlenwasserstoff-Index	mg/l	< 0,1	DIN EN ISO 9377-2 (H 53)
Tenside, nichtionisch	mg/l	6,79	DIN 38409-23 (H 23)

Jedes Messergebnis unterliegt der Messunsicherheit. Informationen erhalten Sie durch das Qualitätsmanagement unseres Institutes. Das Probenahmeverfahren wurde im akkreditierten Bereich durchgeführt.

Mehrfertigung: entfällt

  
**Matthias Hamann**  
 Geschäftsführer

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die o.g. Prüfgegenstände. Ohne Genehmigung darf dieser Bericht nicht auszugsweise veröffentlicht oder vervielfältigt werden.



Institut Prof. Dr. Jäger GmbH  
 Institut für Umweltanalytik  
 72072 Tübingen  
 Ernst-Simon-Straße 2-4

Tel 07071 7007-0  
 Fax 07071 7007-77  
 E-Mail. info@institut-jaeger.de  
 Internet. www.institut-jaeger.de

Norddeutsche Landesbank Hannover  
 Konto Nr. 0199 914706 (BLZ 250 500 00)  
 IBAN: DE6825 0500 0001 9991 4706  
 SWIFT-BIC: NOLADE2HXXX



Geschäftsführer: Matthias Hamann  
 Registergericht Stuttgart, HRB 382768  
 USt-IdNr DE 245713899

78467 Konstanz, Robert-Bosch-Str 18, Tel. 07531 50343, Fax 07531 50262  
 78050 VS-Villingen, Friedrichstr. 9, Tel. 07721 55060, Fax 07721 55000  
 99427 Weimar, Hinter dem Bahnhof 10, Tel. 03643 421729, Fax 03643 421773  
 99091 Erfurt, Camburger Str 5, Tel. 0361 740870, Fax 0361 7408713



Institut Prof. Dr. Jäger

Institut Prof. Dr. Jäger GmbH - Ernst-Simon-Str. 2-4 - 72072 Tübingen

Ing. Büro  
Dipl. Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34

*Permeat Versuchsanlage*

78166 Donaueschingen

Telefon: 0771/14000 Fax: 0771/14940

**PRÜFBERICHT**

Tübingen, 20.05.2009 / si  
Es schreibt Ihnen Frau Singer (7007-47)

**Untersuchung im Rahmen der Eigenkontrolle**

**Art des Auftrages:** Abwasseruntersuchung  
**Bestellnummer:** Projekt: "Wessy"  
**Auftragsnummer :** 109-03041  
**Kundennummer:** 08258  
**Tagebuchnummer:** P109-07672  
**Entnahmestelle:** Aufbereitetes Abwasser vom 05.05.2009 / 11:00 Uhr  
**Probenahme / -nehmer:** 07.05.2009 Entnommen durch Auftraggeber  
**Probeneingang:** 07.05.2009  
**Untersuchungsbeginn:** 07.05.2009 **Untersuchungsende:** 20.05.2009

**ERGEBNISSE**

Untersuchungen im Labor			
Parameter	Einheit	Prüfergebnis	Prüfverfahren
Aussehen		klar	sensorisch
Farbe		farblos	sensorisch
Geruch		spezifisch	sensorisch
pH-Wert		5,7	DIN 38404-5 (C 5)
Permanganat-Index	mg/l	14	DIN EN ISO 8467 (H 5)
BSB5 mit ATH-Zusatz	mg/l	< 3	DIN EN 1899-1 (H 51)
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	mg/l	< 15	DIN 38409-41 (H 41)
Kohlenwasserstoff-Index	mg/l	0,1	DIN EN ISO 9377-2 (H 53)
Tenside, nichtionisch	mg/l	0,88	DIN 38409-23 (H 23)

Jedes Messergebnis unterliegt der Messunsicherheit. Informationen erhalten Sie durch das Qualitätsmanagement unseres Institutes. Das Probenahmeverfahren wurde im akkreditierten Bereich durchgeführt.

Mehrfertigung: entfällt

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die o.g. Prüfgegenstände. Ohne Genehmigung darf dieser Bericht nicht auszugsweise veröffentlicht oder vervielfältigt werden.



Institut Prof. Dr. Jäger GmbH  
Institut für Umweltanalytik  
72072 Tübingen  
Ernst-Simon-Straße 2-4

Tel. 07071 7007-0  
Fax 07071 7007-77  
E-Mail: info@institut-jaeger.de  
Internet: www.institut-jaeger.de

Norddeutsche Landesbank Hannover  
Konto Nr. 0199 914706 (BLZ 250 500 00)  
IBAN: DE6825 0500 0001 9991 4706  
SWIFT-BIC: NOLADE2HXXX



Geschäftsführer: Matthias Hamann  
Registergericht Stuttgart, HRB 382768  
USt-IdNr. DE 245713899

78467 Konstanz, Robert-Bosch-Str. 18, Tel. 07531 50343, Fax 07531 50262  
78050 VS-Villingen, Friedrichstr. 9, Tel. 07721 55050, Fax 07721 55000  
99427 Weimar, Hinter dem Bahnhof 10, Tel. 03643 421729, Fax 03643 421773  
99091 Erfurt, Camburger Str. 5, Tel. 0361 740870, Fax 0361 7408713

Institut Prof. Dr. Jäger GmbH - Ernst-Simon-Str. 2-4 - 72072 Tübingen

Ing. Büro  
Dipl. Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34

78166 Donaueschingen

Telefon: 0771/14000

Fax: 0771/14940

Permeat Versuchsanlage

## PRÜFBERICHT

Tübingen, 29.06.2009 / si  
Es schreibt Ihnen Frau Singer (7007-47)

### Untersuchung im Rahmen der Eigenkontrolle

**Art des Auftrages:** Abwasseruntersuchung  
**Auftragsnummer :** 109-04140  
**Kundennummer:** 08258  
**Tagebuchnummer:** P109-10635  
**Entnahmestelle:** Reinigungsabwasser / Flaschenreinigungsanlage der FF-Brauerei GmbH & Co. KG Donaueschingen  
**Probenahme / -nehmer:** 17.06.2009 / 12:45 Uhr Herr Rottenecker  
**Probeneingang:** 17.06.2009

**Untersuchungsende:** 29.06.2009

## ERGEBNISSE

Untersuchungen im Labor			
Parameter	Einheit	Prüfergebnis	Prüfverfahren
Aussehen		klar	sensorisch
Farbe		farblos	sensorisch
Geruch		ohne Befund	sensorisch
pH-Wert		6,3	DIN 38404-5 (C 5)
Permanganat-Index	mg/l	14	DIN EN ISO 8467 (H 5)
BSB5 mit ATH-Zusatz	mg/l	< 3	DIN EN 1899-1 (H 51)
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	mg/l	16	DIN 38409-41 (H 41)
Kohlenwasserstoff-Index	mg/l	< 0,1	DIN EN ISO 9377-2 (H 53)
Tenside, nichtionisch	mg/l	3,61	DIN 38409-23 (H 23)

Jedes Messergebnis unterliegt der Messunsicherheit. Informationen erhalten Sie durch das Qualitätsmanagement unseres Institutes. Das Probenahmeverfahren wurde im akkreditierten Bereich durchgeführt.

Mehrfertigung: entfällt

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die o.g. Prüfgegenstände. Ohne Genehmigung darf dieser Bericht nicht auszugsweise veröffentlicht oder vervielfältigt werden.



Institut Prof. Dr. Jäger GmbH  
Institut für Umweltanalytik  
72072 Tübingen  
Ernst-Simon-Straße 2-4

Tel. 07071 7007-0  
Fax 07071 7007-77  
E-Mail: info@institut-jaeger.de  
Internet: www.institut-jaeger.de

Norddeutsche Landesbank Hannover  
Konto Nr. 0199 914706 (BLZ 250 500 00)  
IBAN: DE6825 0500 0001 9991 4706  
SWIFT-BIC: NOLADE2HXXX



Geschäftsführer: Matthias Hamann  
Registergericht Stuttgart, HRB 382768  
USt-IdNr. DE 245713899

78467 Konstanz, Robert-Bosch-Str. 18, Tel. 07531 50343, Fax 07531 50262  
78050 VS-Villingen, Friedrichstr. 9, Tel. 07721 55050, Fax 07721 55000  
99427 Weimar, Hinter dem Bahnhof 10, Tel. 03643 421729, Fax 03643 421773  
99091 Erfurt, Camburger Str. 5, Tel. 0361 740870, Fax 0361 7408713



Institut Prof. Dr. Jäger

Institut Prof. Dr. Jäger GmbH - Ernst-Simon-Str. 2-4 - 72072 Tübingen

Ing. Büro  
Dipl. Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
  
78166 Donaueschingen

Permeat Versuchsanlage

Telefon: 0771/14000 Fax: 0771/14940

**PRÜFBERICHT**

Tübingen, 20.05.2009 / si  
Es schreibt Ihnen Frau Singer (7007-47)

**Art des Auftrages:** Abwasseruntersuchung  
**Bestellnummer:** Projekt: "Wessy"  
**Auftragsnummer :** 109-03041  
**Kundennummer:** 08258  
**Tagebuchnummer:** P109-07673  
**Entnahmestelle:** Aufbereitetes Abwasser vom 06.05.2009 / 09:00 Uhr  
**Probenahme / -nehmer:** 07.05.2009 Entnommen durch Auftraggeber  
**Probeneingang:** 07.05.2009  
**Untersuchungsbeginn:** 07.05.2009 **Untersuchungsende:** 20.05.2009

**ERGEBNISSE**

Untersuchungen im Labor			
Parameter	Einheit	Prüfergebnis	Prüfverfahren
Aussehen		klar	sensorisch
Farbe		farblos	sensorisch
Geruch		spezifisch	sensorisch
pH-Wert		5,4	DIN 38404-5 (C 5)
Permanganat-Index	mg/l	14	DIN EN ISO 8467 (H 5)
BSB5 mit ATH-Zusatz	mg/l	< 3	DIN EN 1899-1 (H 51)
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	mg/l	< 15	DIN 38409-41 (H 41)
Kohlenwasserstoff-Index	mg/l	< 0,1	DIN EN ISO 9377-2 (H 53)
Tenside, nichtionisch	mg/l	1,33	DIN 38409-23 (H 23)

Jedes Messergebnis unterliegt der Messunsicherheit. Informationen erhalten Sie durch das Qualitätsmanagement unseres Institutes. Das Probenahmeverfahren wurde im akkreditierten Bereich durchgeführt.

Mehrfertigung: entfällt

**Wolfgang Bitzer**  
**Abteilungsleiter Altlasten und Abfall**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die o.g. Prüfgegenstände. Ohne Genehmigung darf dieser Bericht nicht auszugsweise veröffentlicht oder vervielfältigt werden.



Institut Prof. Dr. Jäger GmbH  
Institut für Umweltanalytik  
72072 Tübingen  
Ernst-Simon-Straße 2-4

Tel. 07071 7007-0  
Fax 07071 7007-77  
E-Mail: info@institut-jaeger.de  
Internet: www.institut-jaeger.de

Norddeutsche Landesbank Hannover  
Konto Nr. 0199 914706 (BLZ 250 500 00)  
IBAN: DE6825 0500 0001 9991 4706  
SWIFT-BIC: NOLADE2HXXX



Geschäftsführer: Matthias Hamann  
Registergericht Stuttgart, HRB 382768  
USt-IdNr. DE 245713899

78467 Konstanz, Robert-Bosch-Str. 18, Tel. 07531 50343, Fax 07531 50262  
78050 VS-Villingen, Friedrichstr. 9, Tel. 07721 55050, Fax 07721 55000  
99427 Weimar, Hinter dem Bahnhof 10, Tel. 03643 421729, Fax 03643 421773  
99091 Erfurt, Cambrurger Str. 5, Tel. 0361 740870, Fax 0361 7408713

Institut Prof. Dr. Jäger GmbH - Ernst-Simon-Str. 2-4 - 72072 Tübingen

Ing. Büro  
Dipl. Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34

78166 Donaueschingen

Blindprobe Frischwasser

11 / 2009

Telefon: 0771/14000

Fax: 0771/14940

**PRÜFBERICHT**Tübingen, 11.11.2009 / si  
Es schreibt Ihnen Frau Singer (7007-47)

**Art des Auftrages:** Abwasseruntersuchung  
**Bestellnummer:** Projekt: "Wessy"  
**Auftragsnummer :** 109-08653  
**Kundennummer:** 08258  
**Tagebuchnummer:** P109-24403  
**Entnahmestelle:** BT Rohwasser pH 8  
**Probenahme / -nehmer:** 03.11.2009  
**Probeneingang:** 05.11.2009  
**Untersuchungsbeginn:** 05.11.2009

Entnommen durch Auftraggeber

**Untersuchungsende:** 11.11.2009**ERGEBNISSE**

Untersuchungen im Labor			
Parameter	Einheit	Prüfergebnis	Prüfverfahren
Aussehen		klar	sensorisch
Farbe		farblos	sensorisch
Geruch		spezifisch	sensorisch
Tenside, nichtionisch	mg/l	5,5	DIN 38409-23 (H 23)

Jedes Messergebnis unterliegt der Messunsicherheit. Informationen erhalten Sie durch das Qualitätsmanagement unseres Institutes. Das Probenahmeverfahren wurde im akkreditierten Bereich durchgeführt.

Mehrfertigung: entfällt**Matthias Hamann**  
**Geschäftsführer**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die o.g. Prüfgegenstände. Ohne Genehmigung darf dieser Bericht nicht auszugsweise veröffentlicht oder vervielfältigt werden.



Institut Prof. Dr. Jäger GmbH  
 Institut für Umweltanalytik  
 72072 Tübingen  
 Ernst-Simon-Straße 2-4

Tel. 07071 7007-0  
 Fax 07071 7007-77  
 E-Mail: info@institut-jaeger.de  
 Internet: www.institut-jaeger.de

Norddeutsche Landesbank Hannover  
 Konto Nr. 0199 914706 (BLZ 250 500 00)  
 IBAN: DE6825 0500 0001 9991 4706  
 SWIFT-BIC: NOLADE2HXXX



Geschäftsführer: Matthias Hamann  
 Registergericht Stuttgart, HRB 382768  
 USt-IdNr. DE 245713899

78467 Konstanz, Robert-Bosch-Str. 18, Tel. 07531 50343, Fax 07531 50262  
 78050 VS-Villingen, Friedrichstr. 9, Tel. 07721 55050, Fax 07721 55000  
 99427 Weimar, Hinter dem Bahnhof 10, Tel. 03643 421729, Fax 03643 421773

Ing. Büro  
Dipl. Ing. J. Ledwig  
Arnold-Schönberg-Ring 34  
78166 Donaueschingen

*Blindprobe Frischwasser  
01/2010*

Telefon: 0771/14000 Fax: 0771/14940

**PRÜFBERICHT**

Tübingen, 22.01.2010 / si  
Es schreibt Ihnen Frau Singer (7007-47)

**Untersuchung im Rahmen der Eigenkontrolle**

**Art des Auftrages:** Abwasseruntersuchung  
**Bestellnummer:** Projekt: "Wessy"  
**Auftragsnummer :** 110-00407  
**Kundennummer:** 08258  
**Tagebuchnummer:** P110-01160  
**Entnahmestelle:** 19.1.2010 / Probe 1 / Eing. VL 19.1.10  
**Probenahme / -nehmer:** 19.01.2010 Entnommen durch Auftraggeber  
**Probeneingang:** 19.01.2010  
**Untersuchungsbeginn:** 20.01.2010 **Untersuchungsende:** 22.01.2010

**ERGEBNISSE**

Untersuchungen im Labor			
Parameter	Einheit	Prüfergebnis	Prüfverfahren
Aussehen		klar	sensorisch
Farbe		farblos	sensorisch
Geruch		ohne Befund	sensorisch
Tenside, nichtionisch	mg/l	< 0,5	DIN 38409-23 (H 23)

Jedes Messergebnis unterliegt der Messunsicherheit. Informationen erhalten Sie durch das Qualitätsmanagement unseres Institutes. Das Probenahmeverfahren wurde im akkreditierten Bereich durchgeführt.

Mehrfertigung: entfällt

**Matthias Hamann**  
**Geschäftsführer**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die o.g. Prüfgegenstände. Ohne Genehmigung darf dieser Bericht nicht auszugsweise veröffentlicht oder vervielfältigt werden.

## Vergleich Messwerte Tensidbelastung

Ablauf (Probenbenennung)

1.) Einlauf Waschlauge in Filter MPF (automatischer Rückspülfilter Filtrationsleistung 50 µm)

Keine Probe

2.) Einlauf Feinfilter LLK (Inlinefilter - Filtrationsleistung 1 µm)

**Probe "Rohwasser pH 12 LLK"**

3.) Arbeitstank Membrananlage VOR Neutralisierung auf pH8

**Probe "Rohwasser AT pH12"**

4.) Arbeitstank Membrananlage NACH Neutralisierung auf pH8

**Probe "Rohwasser AT pH 8"**

5.) Permeatauslauf nach Filtration Membran

**Probe "Permeat" in PE-Flasche**

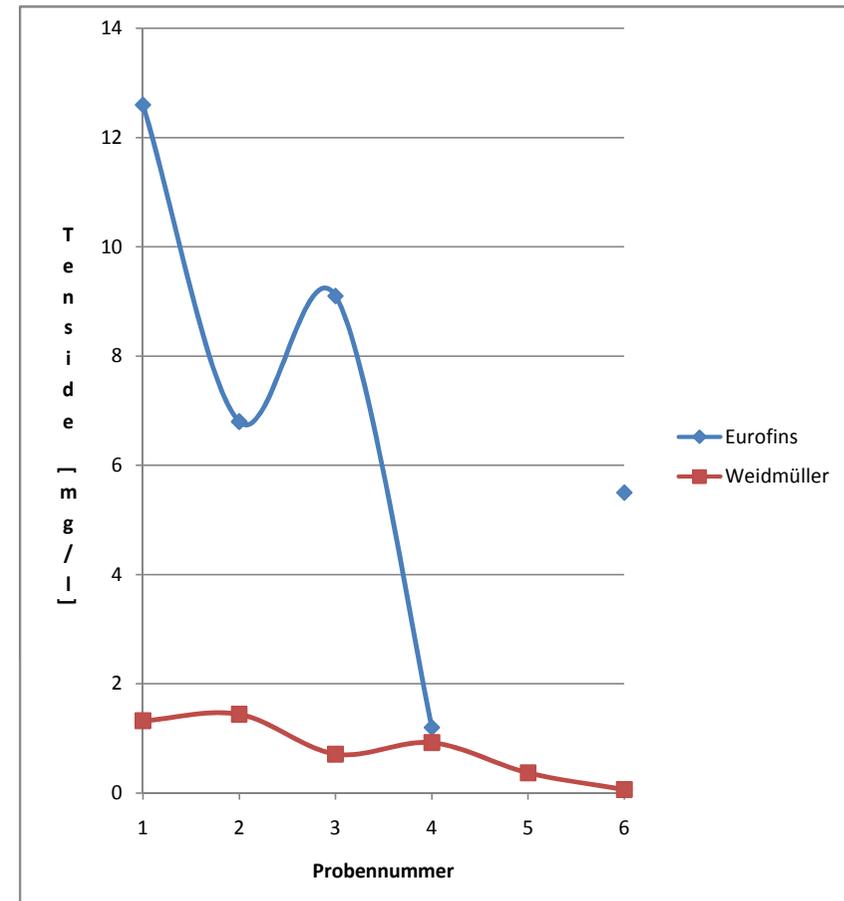
**Probe "Permeat" in Glasflasche**

6.) Blindprobe Leitungswasser

**Probe "Rohwasser BT pH 8"**

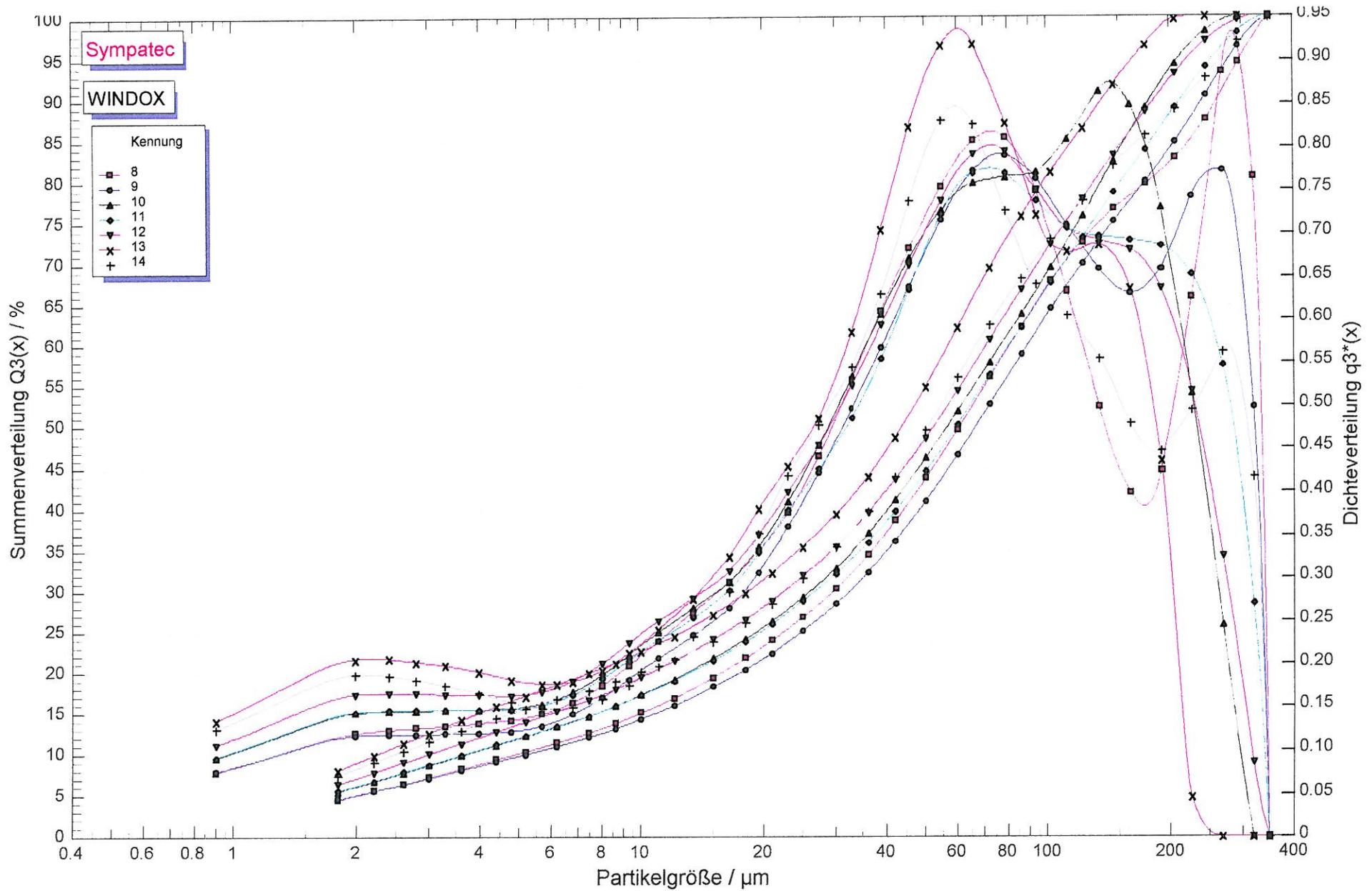
### Messwerte Tensidbelastung in mg/l

Institut	Nr.	Eurofins	Weidmüller
<b>Probe "Rohwasser pH 12 LLK"</b>	1	12,6	1,32
<b>Probe "Rohwasser AT pH12"</b>	2	6,8	1,44
<b>Probe "Rohwasser AT pH 8"</b>	3	9,1	0,711
<b>Probe "Permeat" in PE-Flasche</b>	4	1,2	0,919
<b>Probe "Permeat" in Glasflasche</b>	5		0,367
<b>Probe "Rohwasser BT pH 8"</b>	6	5,5	0,06

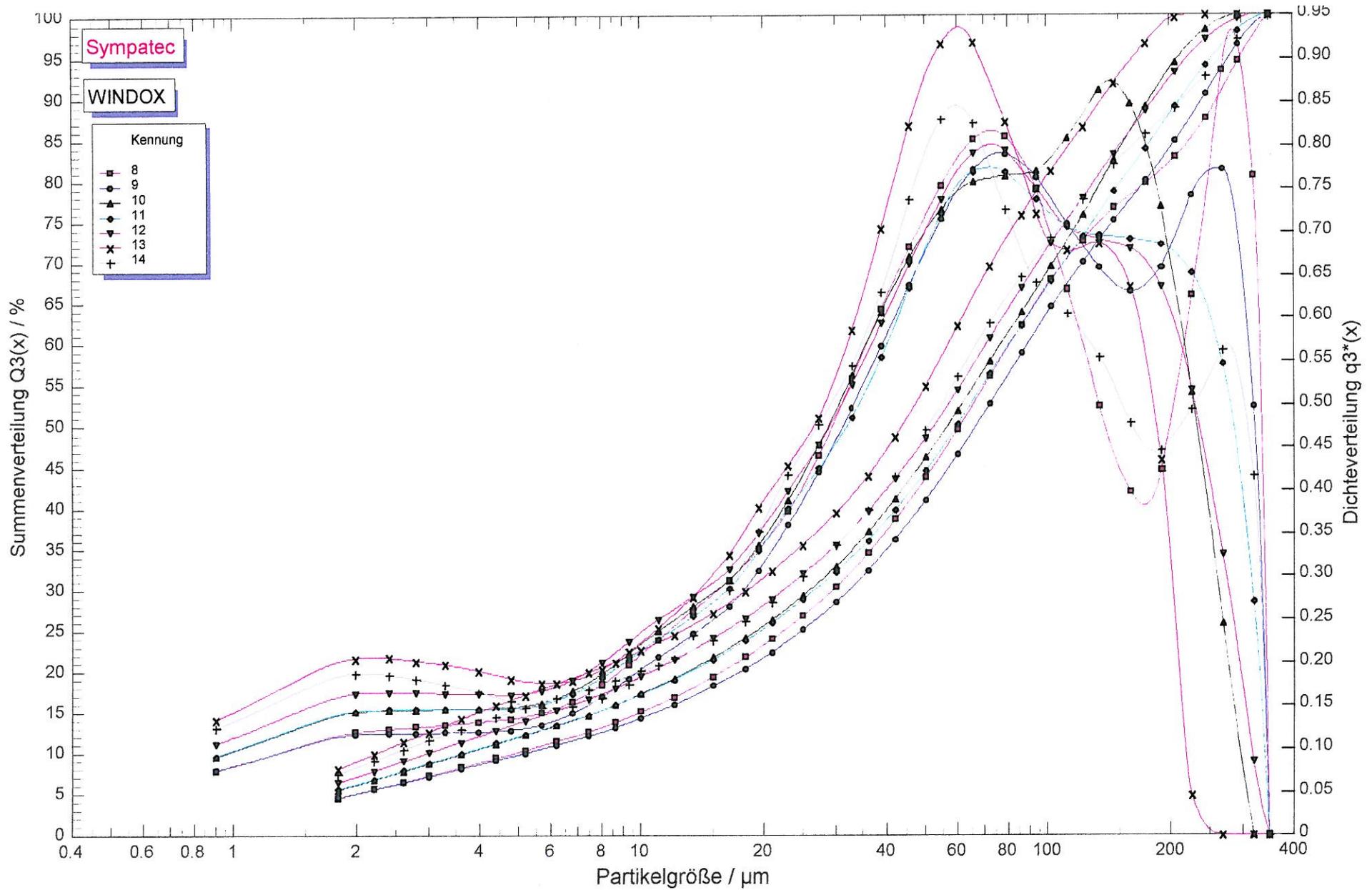


Anhang [6] Tensidbestimmung Waschwasser, Permeat, Frischwasser

Anhang [7] Analyse Partikelgrößenverteilung Waschwasser



Anhang [7] Analyse Partikelgrößenverteilung Waschwasser





Sympatec GmbH  
System-Partikel-Technik

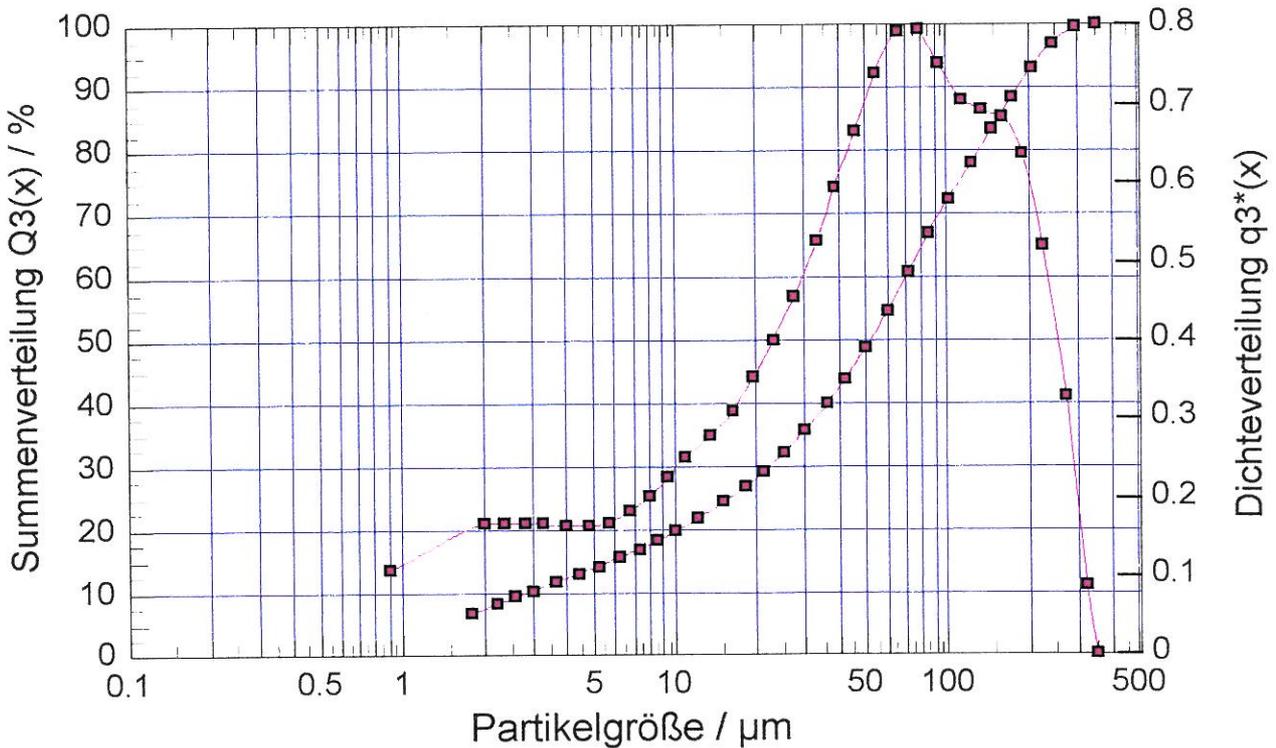
# Partikelgrößenanalyse

WINDOX

Sympatec HELOS (H0563) GRACELL: F.F. Brauerei-Wasser

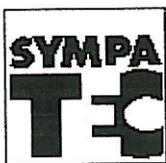
12.11.07 / 15:04:43

Flüssigkeit Wasser			Meßbedingung		gracell-wasser	
Ultraschall-Dauer	0,00	s	Meßbereich	R4: 0.5/1.8...350µm		
-Pause	10,00	s	Meßdauer	10,01	s	
Rührerdrehzahl	80,00	%	Zykluszeit	1000	ms	
			Start bei	0,00%	auf	Startknopf
			Referenzmessung	00:05:17,	0,00	%
			Auswertung	LD (V 3.4 Rel.1)		
Bediener	weh		HELOS/DOS Dateiname			
Kennung	12,00					
Kommentar	### Warnung ### LD: Vermutlich Messbereichsüberschreitung !					



Volumenverteilung							
x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%
1,80	6,34	7,40	16,54	30,00	35,32	122,00	77,65
2,20	7,77	8,60	17,85	36,00	39,46	146,00	83,03
2,60	8,97	10,00	19,31	42,00	43,42	174,00	88,21
3,00	10,00	12,00	21,28	50,00	48,43	206,00	92,87
3,60	11,29	15,00	23,96	60,00	54,26	246,00	96,84
4,40	12,71	18,00	26,39	72,00	60,51	294,00	99,36
5,20	13,89	21,00	28,73	86,00	66,63	350,00	100,00
6,20	15,17	25,00	31,74	102,00	72,18		

x10 =	3,00 µm	x50 =	52,70 µm	x90 =	186,28 µm
x16 =	6,93 µm	x84 =	151,22 µm	x99 =	287,17 µm
M1,3 =	74,7 µm	Sv =	0,635 m2/cm3	c_opt =	0,00 %



Sympatec GmbH  
System-Partikel-Technik

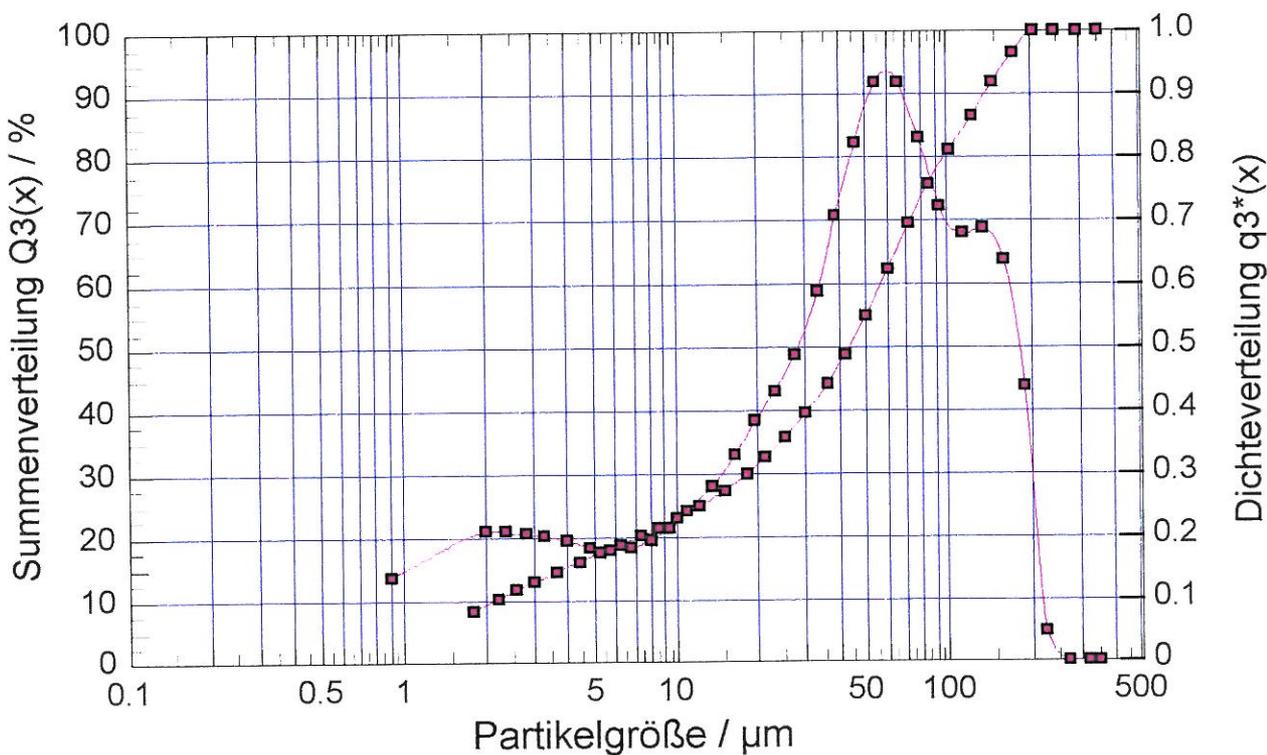
# Partikelgrößenanalyse

WINDOX

Sympatec HELOS (H0563) GRACELL: F.F. Brauerei-Wasser

12.11.07 / 15:06:58

Flüssigkeit Wasser		Meßbedingung	gracell-wasser
Ultraschall-Dauer 60,00 s		Meßbereich	R4: 0.5/1.8...350µm
-Pause 10,00 s		Meßdauer 10,01 s	
Rührerdrehzahl 80,00 %		Zykluszeit 1000 ms	
		Start bei 0,00% auf Startknopf	
		Referenzmessung 00:07:32, 0,00 %	
		Auswertung LD (V 3.4 Rel.1)	
		HELOS/DOS Dateiname	
Bediener weh			
Kennung 13,00			
Kommentar			



Volumenverteilung							
x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%
1,80	8,03	7,40	19,82	30,00	39,21	122,00	86,27
2,20	9,82	8,60	21,07	36,00	43,83	146,00	91,62
2,60	11,31	10,00	22,46	42,00	48,54	174,00	96,46
3,00	12,57	12,00	24,35	50,00	54,76	206,00	99,65
3,60	14,13	15,00	27,02	60,00	62,01	246,00	100,00
4,40	15,79	18,00	29,60	72,00	69,28	294,00	100,00
5,20	17,10	21,00	32,13	86,00	75,66	350,00	100,00
6,20	18,44	25,00	35,37	102,00	81,00		

x10 = 2,25 µm	x50 = 43,88 µm	x90 = 138,74 µm
x16 = 4,53 µm	x84 = 113,39 µm	x99 = 199,49 µm
M1,3 = 56,8 µm	Sv = 0,762 m2/cm3	c_opt = 0,37 %



Sympatec GmbH  
System-Partikel-Technik

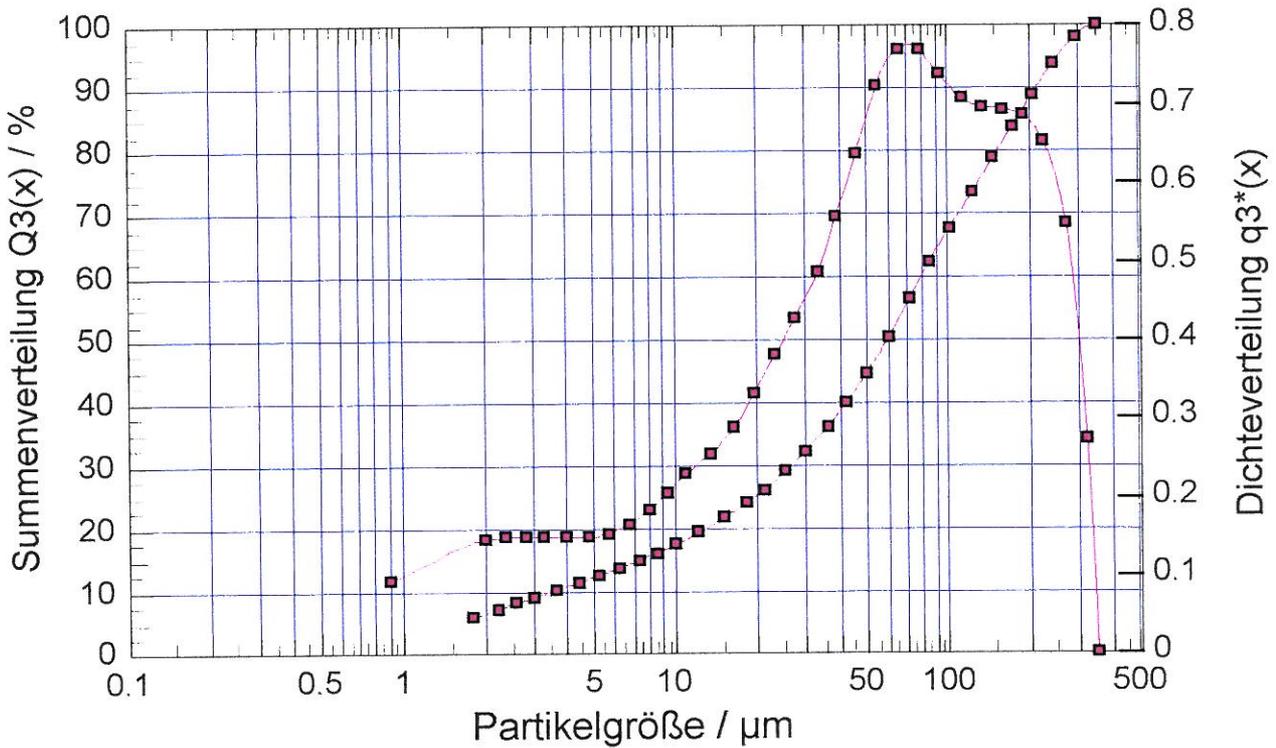
# Partikelgrößenanalyse

WINDOX

Sympatec HELOS (H0563) GRACELL: F.F. Brauerei-Wasser

12.11.07 / 15:03:59

Flüssigkeit Wasser		Meßbedingung	gracell-wasser
Ultraschall-Dauer 0,00 s		Meßbereich	R4: 0.5/1.8...350µm
-Pause 10,00 s		Meßdauer 10,01 s	
Rührerdrehzahl 80,00 %		Zykluszeit 1000 ms	
		Start bei 0,00% auf Startknopf	
		Referenzmessung 00:04:33, 0,00 %	
		Auswertung LD (V 3.4 Rel.1)	
Bediener weh		HELOS/DOS Dateiname	
Kennung 11,00			
Kommentar ### Warnung ### LD: Vermutlich Messbereichsüberschreitung !			



Volumenverteilung							
x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%
1,80	5,51	7,40	14,61	30,00	32,04	122,00	73,02
2,20	6,76	8,60	15,79	36,00	35,87	146,00	78,43
2,60	7,81	10,00	17,13	42,00	39,57	174,00	83,70
3,00	8,71	12,00	18,92	50,00	44,38	206,00	88,72
3,60	9,86	15,00	21,37	60,00	50,08	246,00	93,74
4,40	11,13	18,00	23,62	72,00	56,16	294,00	97,96
5,20	12,20	21,00	25,82	86,00	62,09	350,00	100,00
6,20	13,35	25,00	28,68	102,00	67,54		

x10 =	3,69 µm	x50 =	59,86 µm	x90 =	216,22 µm
x16 =	8,82 µm	x84 =	175,93 µm	x99 =	322,57 µm
M1,3 =	86,1 µm	Sv =	0,565 m2/cm3	c_opt =	0,00 %



Sympatec GmbH  
System-Partikel-Technik

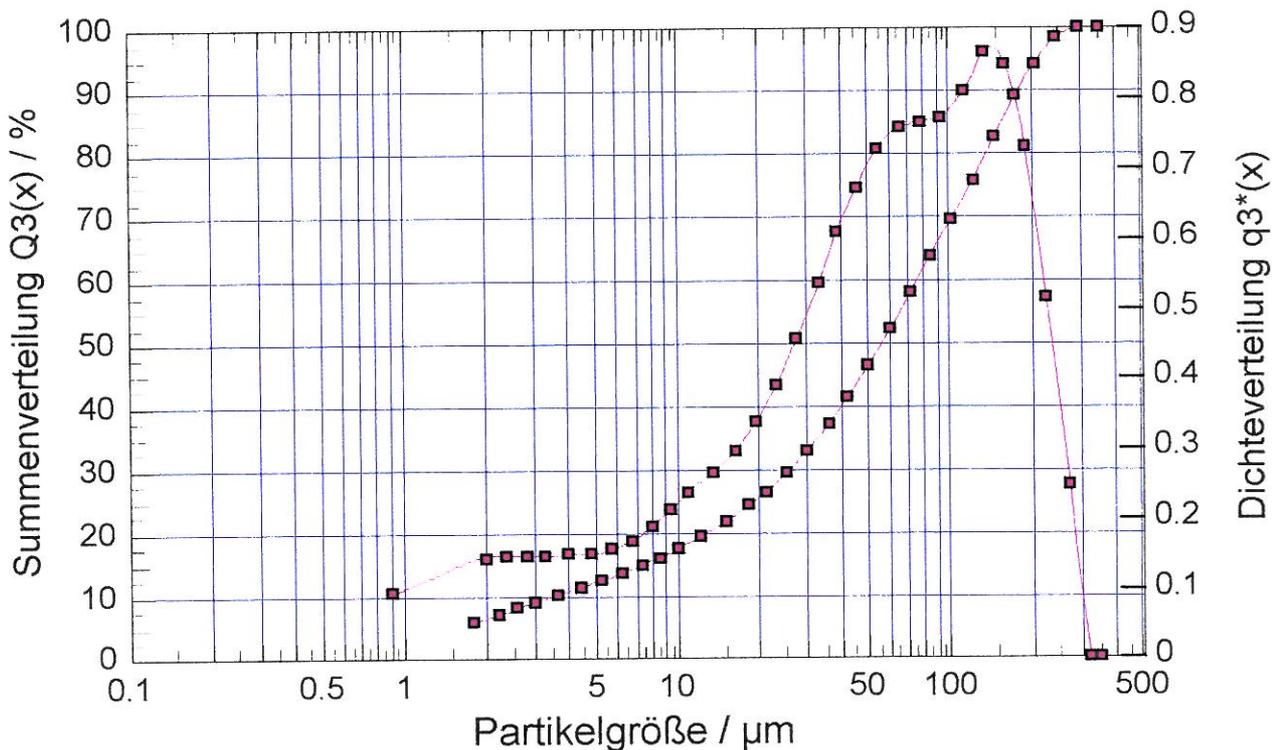
# Partikelgrößenanalyse

## WINDOX

Sympatec HELOS (H0563) GRACELL: F.F. Brauerei-Wasser

12.11.07 / 15:03:05

Flüssigkeit Wasser			Meßbedingung		gracell-wasser	
Ultraschall-Dauer	0,00	s	Meßbereich	R4: 0.5/1.8...350µm		
-Pause	10,00	s	Meßdauer	10,01	s	
Rührerdrehzahl	80,00	%	Zvkluszeit	1000	ms	
			Start bei	0,00%	auf	Startknopf
			Referenzmessung	00:03:39,	0,00	%
			Auswertung	LD (V 3.4 Rel.1)		
			HELOS/DOS Dateiname			
Bediener	weh					
Kennung	10,00					
Kommentar						



Volumenverteilung							
x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%
1,80	5,46	7,40	14,59	30,00	32,70	122,00	75,64
2,20	6,70	8,60	15,81	36,00	36,92	146,00	82,37
2,60	7,75	10,00	17,18	42,00	40,97	174,00	88,82
3,00	8,65	12,00	19,05	50,00	46,04	206,00	94,16
3,60	9,80	15,00	21,61	60,00	51,79	246,00	98,12
4,40	11,08	18,00	23,94	72,00	57,78	294,00	100,00
5,20	12,15	21,00	26,19	86,00	63,67	350,00	100,00
6,20	13,32	25,00	29,12	102,00	69,36		
x10 = 3,72 µm		x50 = 56,89 µm		x90 = 181,05 µm			
x16 = 8,80 µm		x84 = 153,07 µm		x99 = 268,53 µm			
M1,3 = 76,7 µm		sv = 0,567 m2/cm3		c_opt = 0,00 %			



Sympatec GmbH  
System-Partikel-Technik

# Partikelgrößenanalyse

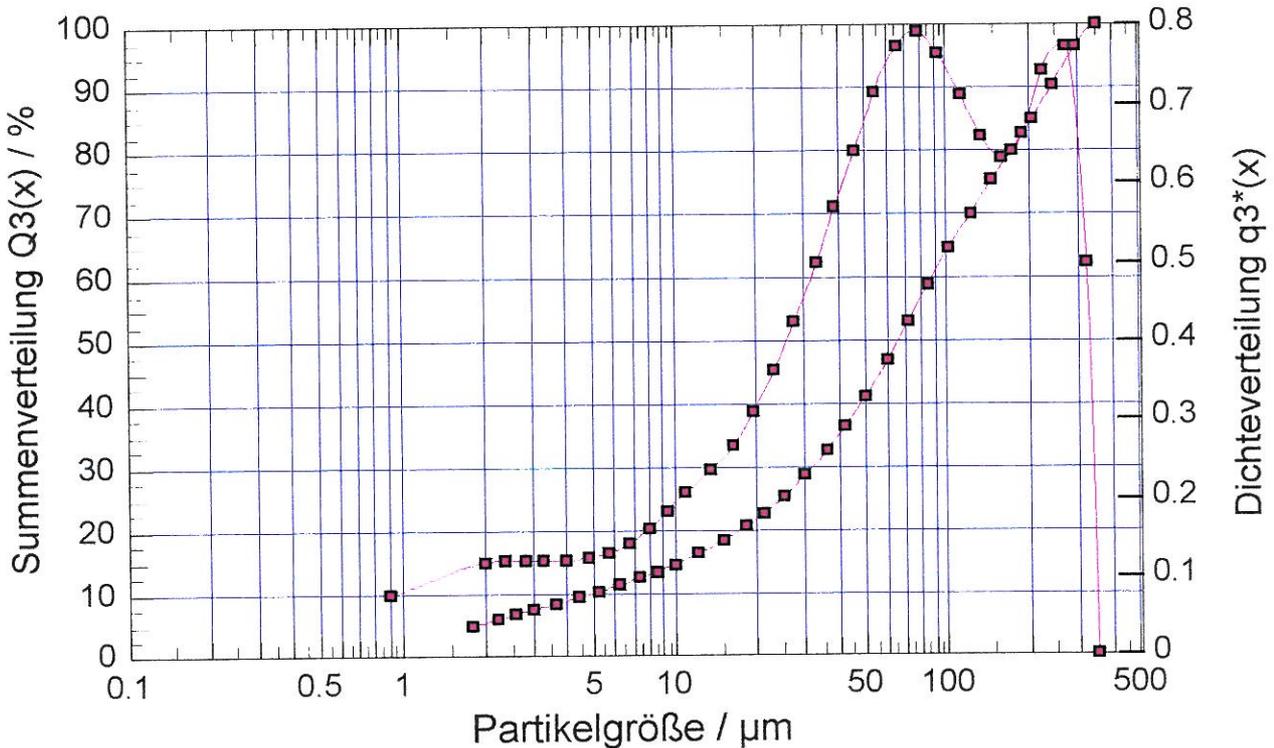
## WINDOX

Sympatec HELOS (H0563) GRACELL: F.F. Brauerei-Wasser

12.11.07 / 15:02:32

Flüssigkeit	Wasser	Meßbedingung	gracell-wasser
Ultraschall-Dauer	0,00 s	Meßbereich	R4: 0.5/1.8...350µm
-Pause	10,00 s	Meßdauer	10,01 s
Rührerdrehzahl	80,00 %	Zykluszeit	1000 ms
		Start bei	0,00% auf Startknopf
		Referenzmessung	00:03:06, 0,00 %
		Auswertung	LD (V 3.4 Rel.1)
		HELOS/DOS Dateiname	

Bediener weh  
Kennung 9,00  
Kommentar ### Warnung ### LD: Vermutlich Messbereichsüberschreitung !



Volumenverteilung							
x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%
1,80	4,49	7,40	12,01	30,00	28,30	122,00	69,82
2,20	5,50	8,60	13,05	36,00	32,22	146,00	74,94
2,60	6,36	10,00	14,24	42,00	36,01	174,00	79,74
3,00	7,09	12,00	15,87	50,00	40,83	206,00	84,56
3,60	8,03	15,00	18,11	60,00	46,48	246,00	90,27
4,40	9,07	18,00	20,20	72,00	52,58	294,00	96,24
5,20	9,95	21,00	22,25	86,00	58,67	350,00	100,00
6,20	10,93	25,00	24,97	102,00	64,31		

x10 =	5,25 µm	x50 =	66,93 µm	x90 =	244,10 µm
x16 =	12,18 µm	x84 =	202,28 µm	x99 =	335,09 µm
M1,3 =	96,6 µm	Sv =	0,479 m2/cm3	c_opt =	0,00 %



Sympatec GmbH  
System-Partikel-Technik

# Partikelgrößenanalyse

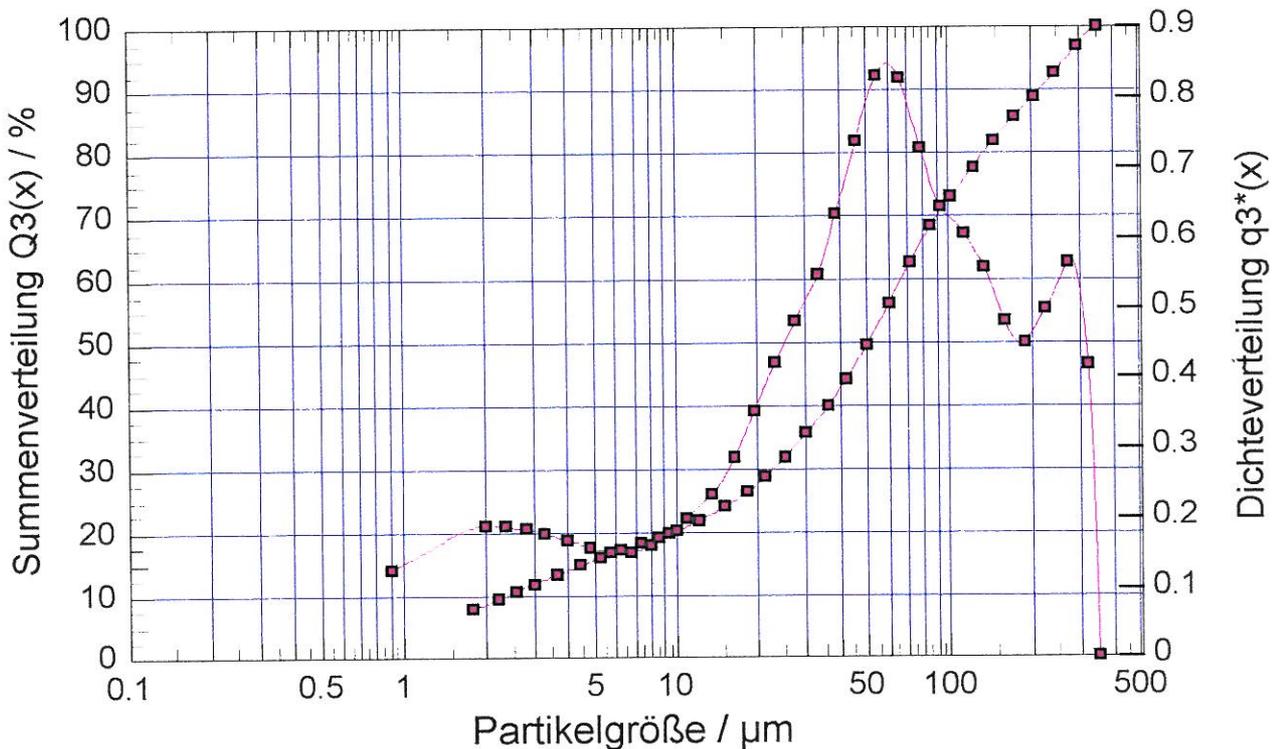
## WINDOX

Sympatec HELOS (H0563) GRACELL: F.F. Brauerei-Wasser

12.11.07 / 15:11:42

Flüssigkeit	Wasser	Meßbedingung	gracell-wasser
Ultraschall-Dauer	240,00	Meßbereich	R4: 0.5/1.8...350µm
-Pause	10,00	Meßdauer	10,01 s
Rührerdrehzahl	80,00 %	Zykluszeit	1000 ms
		Start bei	0,00% auf Startknopf
		Referenzmessung	00:12:16, 0,00 %
		Auswertung	LD (V 3.4 Rel.1)
		HELOS/DOS Dateiname	

Bediener weh  
Kennung 14,00  
Kommentar ### Warnung ### LD: Vermutlich Messbereichsüberschreitung !



Volumenverteilung							
x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%
1,80	7,43	7,40	17,76	30,00	35,25	122,00	77,48
2,20	9,07	8,60	18,79	36,00	39,56	146,00	81,79
2,60	10,41	10,00	19,94	42,00	43,77	174,00	85,42
3,00	11,54	12,00	21,50	50,00	49,34	206,00	88,70
3,60	12,92	15,00	23,73	60,00	55,91	246,00	92,50
4,40	14,36	18,00	25,97	72,00	62,45	294,00	96,85
5,20	15,49	21,00	28,32	86,00	68,05	350,00	100,00
6,20	16,62	25,00	31,48	102,00	72,79		

x10 =	2,48 µm	x50 =	51,00 µm	x90 =	219,70 µm
x16 =	5,65 µm	x84 =	163,02 µm	x99 =	332,23 µm
M1,3 =	79,7 µm	Sv =	0,694 m2/cm3	c_opt =	1,15 %



Sympatec GmbH  
System-Partikel-Technik

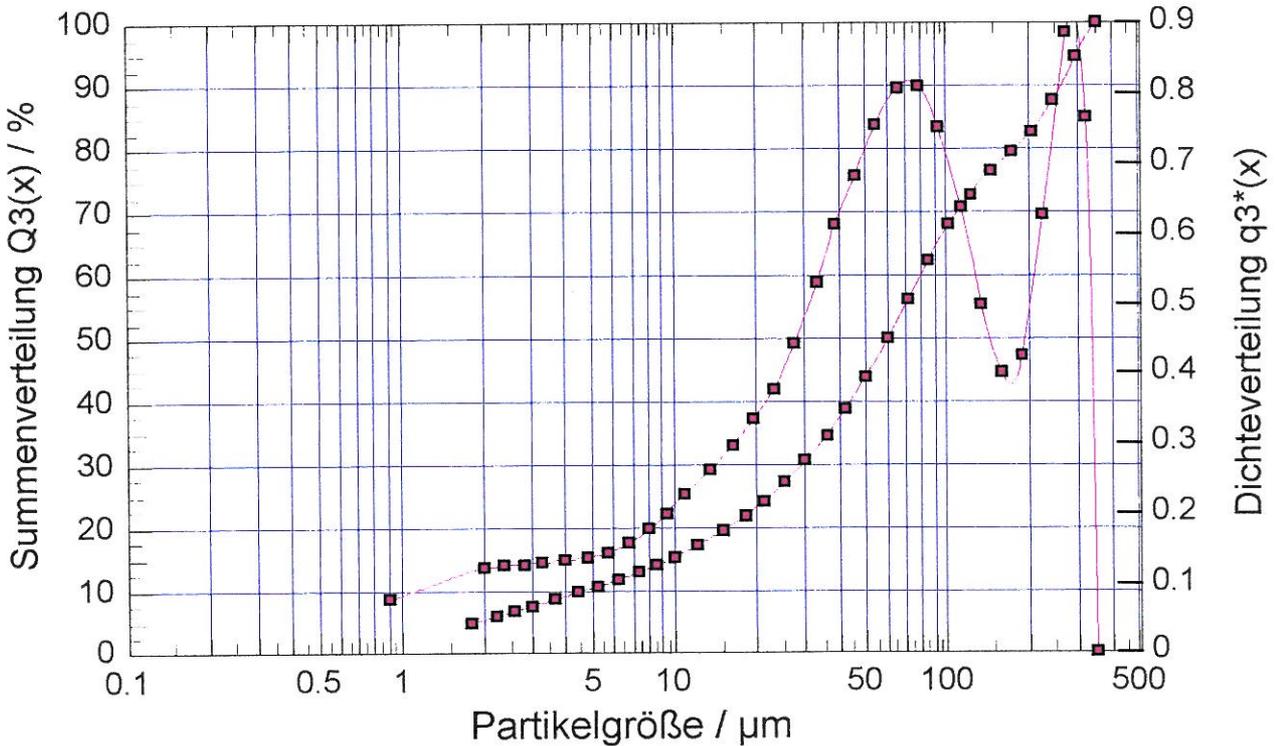
# Partikelgrößenanalyse

WINDOX

Sympatec HELOS (H0563) GRACELL: F.F. Brauerei-Wasser

12.11.07 / 15:01:54

Flüssigkeit Wasser				Meßbedingung		gracell-wasser	
Ultraschall-Dauer 0,00 s				Meßbereich		R4: 0.5/1.8...350µm	
-Pause 10,00 s				Meßdauer		10,01 s	
Rührerdrehzahl 80,00 %				Zykluszeit		1000 ms	
				Start bei		0,00% auf Startknopf	
				Referenzmessung		00:02:28, 0,00 %	
				Auswertung		LD (V 3.4 Rel.1)	
Bediener weh				HELOS/DOS Dateiname			
Kennung 8,00							
Kommentar ### Warnung ### LD: Vermutlich Messbereichsüberschreitung !							



Volumenverteilung							
x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%	x0/µm	Q3/%
1,80	4,46	7,40	12,54	30,00	30,13	122,00	72,57
2,20	5,50	8,60	13,68	36,00	34,31	146,00	76,44
2,60	6,39	10,00	14,97	42,00	38,39	174,00	79,47
3,00	7,16	12,00	16,75	50,00	43,54	206,00	82,56
3,60	8,17	15,00	19,27	60,00	49,50	246,00	87,37
4,40	9,31	18,00	21,60	72,00	55,87	294,00	94,22
5,20	10,28	21,00	23,82	86,00	62,11	350,00	100,00
6,20	11,36	25,00	26,65	102,00	67,65		

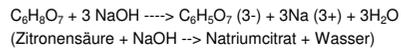
x10 =	4,97 µm	x50 =	60,94 µm	x90 =	264,44 µm
x16 =	11,16 µm	x84 =	217,96 µm	x99 =	340,31 µm
M1,3=	95,9 µm	Sv =	0,492 m2/cm3	c_opt =	0,00 %

## Ermittlung der Zitronensäure-Dosage zur Einstellung des pH-Wertes von 12,2 auf 8

Dosierung	á	13 Becher
		175 ml
		1,67 g/cm <sup>3</sup>
		3.799 g
	auf	40 L
		95,0 g/L
gemessene Dosierung Zitronensäure Versuchsanlage		5 mm
Abnahme Füllstand bei einem Dosiervorgang		0,8 L
		75,99 g für ca. 50 L ?

Beispielrechnung für Neutralisation von Laugen mit starken Säuren	<i>siehe Prinzipien der Chemie (de Gruyter, Seite 230)</i>
molare Masse HCl	36,46 g/mol
Konzentration HCl	3,7 g/L
Volumen Waschwasser Arbeitstank	0,2 L
pH-Wert Waschwasser Arbeitstank (NaOH-Lösung)	11,7
Konzentration NaOH	0,005 mol/L
Konzentration HCl	0,101 mol/L
n(HCl)	1,002 mmol
pH-Wert-Reduzierung auf	10,0
y(HCl)	9,7 ml

## Feldversuch, Einsatz von Zitronensäure (aus Sicherheitsgünden)



molare Masse C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	192 g/mol
Konzentration C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	95 g/L
Dichte C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	1,67 g/cm <sup>3</sup>
Volumen Waschwasser (NaOH-Lösung)	40 L ??
pH-Wert Waschwasser (NaOH-Lösung)	12,00
Konzentration NaOH	0,010 mol/L
Konzentration C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	0,494 mol/L
pks Zitronensäure	6,40
pH-Wert Zitronensäure	3,35
	0,444 mmol
n(C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	400 mmol
pH-Wert-Reduzierung auf	8,0
y(C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	0,9 L
	85,64 g

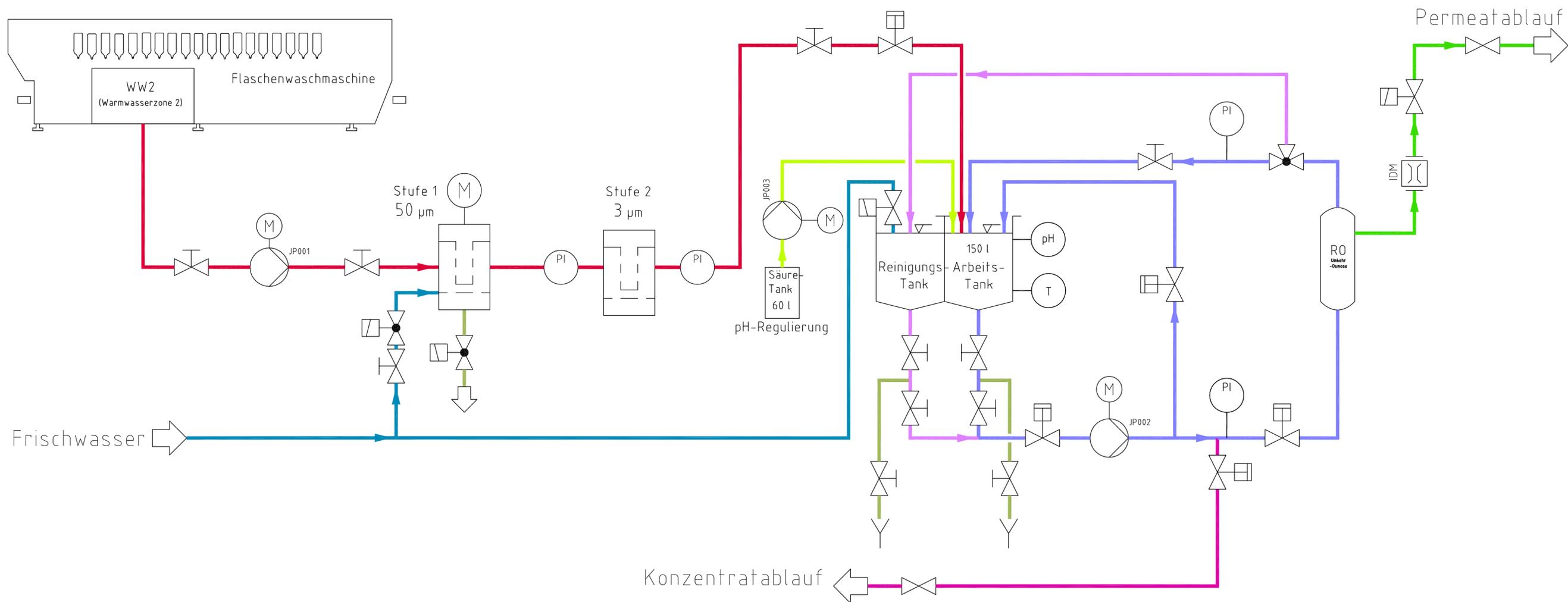
## Laborversuch in Brauereilabor (Tucher) mit Titration von Zitronensäure

rechnerisch:

molare Masse C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	192 g/mol
Konzentration C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	95 g/L
Dichte C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	1,67 g/cm <sup>3</sup>
Volumen Waschwasser Arbeitstank	10.000 L
pH-Wert Waschwasser Arbeitstank (NaOH-Lösung)	12,0
Konzentration NaOH	0,010 mol/L
Konzentration C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	0,494 mol/L
pks Zitronensäure	6,40
pH-Wert Zitronensäure	3,35
	0,444 mmol
n(C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	100.000 mmol
pH-Wert-Reduzierung auf	8,0
y(C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	225 L
	21,4 kg
per Titration ermittelt (Laborversuch)	19,6 kg
	pH-Wert nicht genau eingestellt

Pilotanlage, Neutralisation mit Schwefelsäure	
molare Masse H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,08 g/mol
Konzentration H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	200,0 g/L
Volumen Waschwasser Wessy-Anlage	35.556 L/a
pH-Wert Waschwasser Arbeitstank (NaOH-Lösung)	12,1
Konzentration NaOH	0,013 mol/L
Konzentration H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,039 mol/L
n (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	447.617,924 mmol
pH-Wert-Reduzierung auf	8,0
y (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	219 L/a

## Anhang [8] Ermittlung Säure für pH-Wert-Einstellung im Puffertank



- |  |                      |  |   |  |                   |
|--|----------------------|--|---|--|-------------------|
|  | Spülwasser aus Reima |  | Pumpe mit Elektromotor                      |  | Temperaturmessung |
|  | Spülwasser pH8       |  | Ventil m. Stellantrieb m. Elektromagnet     |  | pH-Wert-Messung   |
|  | Frischwasser         |  | Ventil m. Stellantrieb pneumatisch betätigt |  | Druckmessung      |
|  | Zitronensäure        |  | Durchflussmesser (IDM)                      |  |                   |
|  | Reinigungsmittel     |  | Absperrventil                               |  |                   |
|  | Konzentrat           |  | Ventil mit Handstellung                     |  |                   |
|  | Permeat              |  | Dreiweg-Absperrventil                       |  |                   |
|  | Abwasser             |  |   |  |                   |

[9] Verfahrensschema Versuchsaufbau Feldversuch

Projekt:				<b>"WESSY"</b> Water and Energy Saving System 	
Variante:				Spaltfilter: 50 µm Tiefenfilter: 3 µm	
Bezeichnung:				<b>Pilotanlage WESSY</b> Versuchsaufbau 1 R&I-Schema	
Zust		Änderung		Datum	
Bearb.		Name		Datum	
Gepr.		sr		11.12.2009	
Norm		Maßstab:		1:1	
		Format:		A2	
Projektnummer:				A404.07	
Zeichnungsnummer:				---	
Blatt				001	
				1 Bl.	
<b>Arnold-Schönberg-Ring 34</b> <b>Tel.: 0771/14000</b> <b>info@ibledwig.de</b> <b>78166 Donaueschingen</b> <b>Fax: 0771/14940</b> <b>www.ibledwig.de</b>				 <b>INGENIEURBÜRO LEDWIG</b> Technische Betriebsberatung Projektmanagement	
<small>Diese Zeichnung ist unser geistiges Eigentum. Sie darf gemäß § 1,2 und 11 ff URH.G. und § 823 BGB ohne unsere schriftliche Genehmigung weder vervielfältigt, verwendet, noch Dritten zur Einsicht überlassen oder inhaltlich mitgeteilt werden.</small>					