

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch- Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Robert Englisch

aus

Duisburg

Berichter:
Universitätsprofessor Dr.-Ing. Thomas Melin
Universitätsprofessor Dr.-Ing. Roland Meyer-Pittroff
Tag der Mündlichen Prüfung: 22. Dezember 2006

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand auf der Basis der Untersuchungen, die ich im Rahmen meiner Tätigkeit als Mitarbeiter der Brauerei angestellt habe, deren Anlagen Gegenstand der Betrachtung waren.

Mein herzlicher Dank gilt der Geschäftsführung für die Genehmigung, die gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen dieser Dissertation verwerthen zu dürfen, allen Kollegen und Mitarbeitern für die Unterstützung bei der Durchführung der Pilotierungen und Laboranalysen, meiner Familie, die viel Rücksicht während der Ausarbeitung nehmen musste, und Herrn Prof. Dr. Thomas Melin für die Ermunterung zu und die Betreuung während der Durchführung der Arbeit.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

1. Einleitung	8
2. Aufgabenstellung, Zielsetzung, Vorgehensweise.....	9
2.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	9
2.2 Ausgangssituation.....	9
2.3 Wirtschaftliche und technische Rahmenbedingungen	10
2.4 Vorgehensweise	10
3. Wasserströme in einer Brauerei.....	11
3.1 Wasserverwendung in einer Brauerei 1996.....	11
3.2 Anforderungen an die verschiedenen Wasserströme	13
3.3 Wasserverwendung in einer Brauerei 2005.....	14
4. Industrielles Abwasserrecycling mit Membranen - Stand der Technik	17
4.1 Realisierte Konzepte Stand 2006.....	17
4.1.1 Beispiel 1, Malzindustrie, Deutschland, Aerobe Abwasserbehandlung mit nachgeschalteter Umkehrosmose	17
4.1.2 Beispiel 2, Brauerei, Australien, Anaerobe Abwasserbehandlung mit nachgeschalteter Mikrofiltration und Umkehrosmose	19
4.1.3 Beispiel 3, Brauerei, Deutschland, Anaerobe Abwasserbehandlung mit nachgeschalteter Ultrafiltration und Umkehrosmose	21
4.1.3 Beispiel 4, Textilindustrie.....	24
4.2 Weitere Ansätze, Wasser Pinch Methode.....	25
5. Entwicklung der Abwasseranlage einer westdeutschen Großbrauerei	26
5.1 Misch- und Ausgleichsbecken mit Belüftung.....	26
5.1.1 Aufbau der Anlage in der Ausgangssituation.....	26
5.1.2 Betriebsdaten der Anlage1996	27
5.1.3 Vorversuch Festbettreaktor 1996	28
5.2 Aerobe Abwasserbehandlung in zwei Stufen mit Sedimentation und Schlammeindickung.....	33
5.3 Stabilisierte Aerobe Abwasserbehandlung mit Denitrifikation	40
5.3.1 Eliminierung von polymeren Polyelektrolyten in der Schlammabtrennung, Einführung einer Schlammrückführung und einer Zentralklärung.....	42
5.3.2 Betriebsdaten des Entwicklungsstandes der ARA Ende 2005.....	43
5.4. Zusammenhang zwischen mikrobiologischen Beobachtungen und Ablaufwerten.....	45
6. Membrantechnik zur Abwasseraufbereitung	51
6.1 Theorie der Membrantechnik	51
6.1.1 Fluss.....	51
6.1.2 Rückhalt.....	52
6.1.3 Transmembrandruck und Druckdifferenz.....	52
6.1.4 Permeabilität.....	53
6.1.5 Ausbeute	53
6.1.6 Stofftransport.....	53
6.1.7 Scaling und Fouling	54
6.2 Einstufige Anlagen.....	55
6.2.1 Umkehrosmose mit Spiralwickelmodul Imecon 2001.....	55
6.2.1.1 Aufbau und Funktion der Pilotanlage	55
6.2.1.2 Untersuchte Parameter.....	56
6.2.1.3 Ergebnisse.....	57
6.2.1.4 Resümee	60
6.2.2 Kissenmodul IVT 2002.....	61
6.2.2.1 Aufbau und Funktion der Pilotanlage	61
6.2.2.2 Untersuchte Parameter.....	63
6.2.2.3 Ergebnisse Produktionsversuche.....	64
6.2.2.4 Ergebnisse Reinigungsversuche.....	67

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Inhaltsverzeichnis

6.2.2.5 Resümee	69
6.3 Zweistufige Anlagen.....	70
6.3.1 Membran-Bio-Reaktor-Technologie Zenon 97/98.....	70
6.3.1.1 Aufbau der Pilotanlage.....	70
6.3.1.2 Untersuchte Parameter.....	71
6.3.1.3 Ergebnisse der MBR-Anlage.....	71
6.3.1.4 Ergebnisse der Umkehrosmose-Anlage.....	75
6.3.1.5 Résumé Zenon MBR und Umkehrosmose.....	78
6.3.2 Keramische Ultrafiltration und Umkehrosmose.....	79
6.3.2.1 Aufbau und Funktion der Anlage.....	79
6.3.2.2 Untersuchte Parameter.....	80
6.3.2.3 Ergebnisse Phase 1.....	81
6.3.2.4 Ergebnisse Membranreinigung.....	84
6.3.2.5 Ergebnisse Phase 2.....	84
6.3.2.6 Resümee.....	89
6.3.3 Ultrafiltration mit getauchten Polymermembranen und rechnergestützter Auslegung der Umkehrosmose	90
6.3.3.1 Aufbau und Funktion der Pilotanlage	90
6.3.3.2 Untersuchte Parameter.....	91
6.3.3.3 Ergebnisse Produktionsversuche.....	92
6.3.3.4 Ergebnisse Reinigung.....	97
6.3.3.5 Auslegung Umkehrosmose.....	98
6.3.3.6 Resümee.....	100
6.3.4 Mikrofiltration mit Druckrohr-Polymermembranen und Umkehrosmose ..	101
6.3.4.1 Aufbau und Funktion der Pilotanlage	101
6.3.4.2 Untersuchte Parameter.....	103
6.3.4.3 Ergebnisse Produktionsversuche.....	104
6.3.4.4 Ergebnisse Reinigungsversuche.....	116
6.3.4.5 Ergebnisse Membranuntersuchung	118
6.3.4.6 Resümee.....	121
6.4 Vergleich der Anlagenkonzepte	122
7. Entwicklung eines Gesamtkonzeptes.....	124
7.1 Zweistufige Membrananlage zur Aufbereitung von biologisch behandeltem, durch Sedimentation geklärtem Abwasser.....	124
7.2 Zweistufige Membrananlage mit Option zum Membranbioreaktor	127
7.3 Einsatzmöglichkeiten von Recyclingwasser in einer Brauerei	129
7.4 Wasserströme unter maximaler Wiederverwendung von zurück gewonnenem Wasser.....	130
8. Wirtschaftlichkeitsanalyse	132
8.1 Nutzen und Aufwand.....	132
8.2 Kosten.....	133
8.3 Wirtschaftlichkeit beim Einsatz von Membrantechnologie	134
9. Benchmarks für Wassermanagement in der Brauindustrie und zukünftige Entwicklung.....	135
10. Zusammenfassung und Ausblick	137
11. Formelzeichen.....	138
12. Indizes und Symbole.....	139
13. Abkürzungsverzeichnis	140
14. Abbildungsverzeichnis	141
15. Tabellenverzeichnis	144
16. Literaturverzeichnis.....	145
17. Anhang.....	149
17.1 Envicon Ergebnis und Auswertungstabelle.....	149

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.2 Fallfilmkalkulation.....	151
17.3 Mikrobiologische Untersuchungsergebnisse VTA.....	152
17.4 Zenon MBR.....	158
17.5 Zenon Umkehrosmose.....	161
17.5.1 21 bar	161
17.5.2 35 bar	162
17.6 Daten Imecon 2001.....	163
17.6.1 Datenprotokoll Membranauswahl	163
17.6.2 Datenprotokoll 5. und 6. Run	165
17.6.3 CSB, Trübung und mikrobiologische Analysen.....	167
17.6.4 Ionenanalytik	171
17.6.5 Sensorik.....	172
17.7 Daten FM-Modul Umkehrosmose	174
17.8 Daten MDS Keramische Ultrafiltration mit Umkehrosmose.....	175
17.9 Daten Ultrafiltration KMS	179
17.10 Daten Mikrofiltration und Umkehrosmose GE-Pall.....	180
17.10.1 Daten der regelmäßigen Analysen	180
17.10.2 Daten der Stichprobenanalytik.....	187
17.10.3 Daten der TWVO Analyse	188
18. Lebenslauf des Verfassers.....	197

1. Einleitung

Wasser ist die unabdingbare Grundlage für alle Lebensprozesse.

Die bevölkerungspolitische Bedeutung des Wassers wurde und wird in zahlreichen Veröffentlichungen diskutiert und wird bei jeder Dürrekatastrophe erneut offenbar.

Die Verfügbarkeit von Wasser in angemessener Qualität stellt außerdem für die überwiegende Anzahl von Wirtschaftszweigen eine notwendige Bedingung dar, insbesondere für die Lebensmittel- und Getränkeindustrie.

Für Brauereien ist die Ressource Wasser weltweit nicht erst im Industriezeitalter zu einer über Erfolg oder Misserfolg mit entscheidenden Größe geworden. Historisch war die verfügbare Wasserqualität eines Standortes maßgeblich für die Entwicklung regionaler Biersorten verantwortlich. Hinzu kam die Mengenkomponekte: Man benötigte schließlich traditionell das Zehnfache der zu erzeugenden Produktmenge an Wasser für die Herstellungsprozesse./Kunze 1998/ ¹ Wenngleich das Verhältnis sich heute in modernen Betrieben inzwischen auf das 2,5-fache und sogar weniger verringert hat /Browne 2005/ ², spielt die Wasserversorgung sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht eine überaus bedeutende Rolle für die Brauwirtschaft.

Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist aber für die Braubranche auch die Abwasserentsorgung zu einem bestimmenden Faktor geworden.

Erwachendes Umweltbewusstsein in Europa und bedrückende Auswirkungen der hohen Schmutzbelastung der Gewässer nicht nur in Deutschland führten zum Bau von kommunalen Kläranlagen, zu deren Finanzierung erhebliche Abwassergebühren erhoben wurden. Diese wiederum gingen in die Kosten der Produktionsbetriebe ein. Grenzwerte für die Einleitung von Schmutzfrachten in Gewässer wurden eingeführt bzw. verschärft.

Um Einleitbedingungen einhalten zu können oder um Kosten verkraftbar zu halten, erstellten viele Brauereibetriebe eigene Abwasserreinigungsanlagen in verschiedensten Konzeptionen. /Birkenstock 1996; Rosenwinkel 1990/ ^{3 4}

Gleichzeitig wurden in den Betrieben, wo auch die Frischwasserbeschaffung bereits Kostenrelevanz erreicht hatte, zahlreiche Anstrengungen unternommen, um den Frischwassereinsatz zu reduzieren. Hierbei griffen technische Maßnahmen, wie Zwischenpufferung mit Mehrfachverwendung, und technologische Maßnahmen, wie die Einführung neuer Gärssysteme, ineinander.

Heutige Betrachtungsweisen begreifen den gesamten Wasserhaushalt eines Betriebes als Managementaufgabe. In diesem Kontext entstand die vorliegende Arbeit und möchte einen Beitrag sowohl zur ökologischen, weil Ressourcen schonenden als auch ökonomischen, weil Kosten senkenden Weiterentwicklung von Betrieben der Getränkeindustrie leisten.

2. Aufgabenstellung, Zielsetzung, Vorgehensweise

2.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Rückgewinnung von Wasser aus Abwasser ist ein für Lebensmittelbetriebe und insbesondere Brauereien eine bisher nicht oder jedenfalls höchst selten und nur sektoral praktizierte Vorgehensweise.

Es galt anhand des Beispiels einer westdeutschen Großbrauerei eine technische Lösung für das Wasserrecycling zu entwickeln, mittels derer sowohl die Abwassermenge als auch die extern zu beziehende Frischwassermenge verringert werden konnte.

Zunächst musste die Abwasserbehandlung soweit verbessert werden, dass eine weitere Aufbereitung mittels Trenntechnik möglich wurde. Das dann noch zu lösende Problem stellte sich als Trennproblem eines mit verschiedensten gelösten und dispergierten, organischen wie anorganischen Inhaltsstoffen belasteten Abwassers dar. Um mit nur einer verfahrenstechnischen Anlage sowohl die Frischwasserbeschaffungs- als auch die Abwasserentsorgungssituation unter ökonomisch sinnvollen Umständen verbessern zu können, wurde von Anfang an von den bekannten Trennverfahren nur die Membrantechnologie in ernsthafte Erwägung gezogen, da thermische Verfahren aufgrund des Energiebedarfs keine wirtschaftlich sinnvolle Lösung darstellen konnten (vgl. Anhang Kapitel 17.2) und andere Trennverfahren wie beispielsweise die Adsorption für die Trennaufgabe von vornherein nicht geeignet erschienen.

Zu Beginn der Untersuchungen war kein industriell implementiertes Verfahren in der Getränkeindustrie bekannt. Es musste basierend auf den qualitativen und quantitativen Anforderungen ein Verfahren entwickelt werden, mit dem aus dem vorhandenen Abwasser Brauchwasser bis zur geforderten Qualität aufbereitet und damit wieder verwendet werden konnte.

Dieses Verfahren musste hinsichtlich der Qualität und Quantität des gewonnenen Wassers der wissenschaftlichen Überprüfung standhalten und dem anderen Orts praktizierten oder beschriebenen Stand der Technik gegenübergestellt werden.

Wirtschaftlich sollten die im Unternehmen allgemein geltenden Anforderungen an Investitionsprojekte erfüllt werden, die mit den Methoden der dynamischen Investitionsrechnung nachzuweisen waren.

2.2 Ausgangssituation

Der betrachtete Brauereibetrieb mit einem Ausstoß von über 2 Millionen Hektoliter Bier pro Jahr verfügte 1996 über zwei belüftete Misch- und Ausgleichsbecken für die Vergleichmäßigung des Abwasservolumenstromes. Die Becken sind wegen der räumlichen Begrenztheit des Betriebsgeländes unterhalb logistisch genutzter Hoffläche eingebaut und mit Schwerlast befahrbar. Die Abwassermenge betrug circa 500.000 m^3 im Jahr. Das Abwasser wurde und wird noch heute über das städtische Kanalsystem an die Emschergenossenschaft abgegeben.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Das eingesetzte Frischwasser wird vom kommunalen Versorger bezogen und für die jeweiligen Einsatzzwecke entsprechend aufbereitet. Dabei kamen schon damals für die Brauwasseraufbereitung eine Umkehrosmoseanlage und für die Speisewasseraufbereitung Ionentauscher zum Einsatz. /Nitzsche 2006/⁵

Abwasser aus sanitären Anlagen, das Fäkalien enthalten kann, wurde und wird getrennt vom betrieblichen Abwasser abgegeben, ohne die betriebliche Abwasserreinigung zu durchlaufen.

2.3 Wirtschaftliche und technische Rahmenbedingungen

Für die Kanalnutzung und für die Abwasserentsorgung werden Gebühren entrichtet. Die Gebühren für die Kanalnutzung werden rein mengenproportional und die Gebühren für die Abwasserentsorgung unter Einbeziehung der Parameter Menge, chemischer Sauerstoffbedarf, Gesamtstickstoffgehalt, Phosphatgehalt, absetzbare Stoffe und Schlammindex ermittelt.

Die Möglichkeit der Direkteinleitung ist aufgrund des Anschlusszwanges an das kommunale Kanalsystem nicht gegeben.

2.4 Vorgehensweise

Zunächst waren die Frischwasserverbraucher zu erfassen und nach Brauchwasser und Produktwasserverbrauchern zu unterscheiden und darauf aufbauend das mögliche Einsparpotential zu ermitteln.

Weiterhin musste ein Qualitätsstandard für das Brauchwasser festgelegt werden.

Die Misch- und Ausgleichsbecken wurden zur Abwasserreinigungsanlage erweitert und diese in der Verfahrenstechnik, soweit wie ohne substanzielle Erweiterung möglich, optimiert.

Im Rahmen von Versuchen mit unterschiedlichen Membrantechnologien verschiedener Anlagenhersteller wurde im Pilotanlagenmaßstab ein Wasserrecyclingkonzept entwickelt, das unter den gegebenen Rahmenbedingungen neben den technischen und technologischen auch die im Unternehmen üblichen Anforderungen an den Return on Investment erfüllt.

Die Versuche wurden analytisch vom betriebseigenen sowie von externen Labors begleitet. Dabei wurden die im Labor üblichen Bestimmungsmethoden eingesetzt. Überwiegend kamen dabei photometrische Bestimmungen nach Dr. Lange, aber auch Ionenchromatographie und handelsübliche Messgeräte für Leitfähigkeit, Trübung und pH zum Einsatz.

Bei den in den Versuchen eingesetzten Messgeräten handelte es sich ausschließlich um handelsübliche Geräte für den Industrieinsatz.

Die Entwicklung der Abwasserverfahrenstechnik erfolgte parallel zu den Pilotierungen mit den Membranverfahren, aus denen immer wieder neue Impulse für die Abwassertechnologie gewonnen wurden.

Außerdem wurde durch verfahrenstechnische Optimierung der Bierherstellung und Abfüllung die Menge des Abwassers im Zulauf zur Abwasserbehandlung immer weiter reduziert.

3. Wasserströme in einer Brauerei

Naturgemäß ist der bedeutendste Wasserstrom in einer Brauerei das zur Bierherstellung verwendete Brauwasser. Darüber hinaus werden in einer Vielzahl von Prozessen zum Teil erhebliche Wassermengen benötigt. Deren Größe ist wiederum von zahlreichen Einflussfaktoren, wie bspw. Betriebsgröße, Gebindeverteilung, technische Ausstattung, Produktportfolio und nicht zuletzt von den Standortbedingungen abhängig.

Eine erste Übersicht bietet die Aufzeichnung des Wasserverbrauchs einzelner Produktionsabteilungen. Die folgende Tabelle zeigt ein Beispiel aus dem Jahr 2001.

Anteile der Produktionsabteilungen am Wasserverbrauch in %	
Wasseraufbereitung	4
Sudhaus	40
Gärung u. Lagerung	9
Filtration u. Drucktank	3
Abfüllung	21
Dampferzeugung	0
Kühltürme	12
Sonstiges	10
Gesamt	100

Tabelle 3-1 Anteile am Wasserverbrauch einer Brauerei 2001/Walter 2005/⁶

Bei spezifischen Wasserverbrauchswerten von 2,2-4,5-11 l/l verkauften Bieres /Geiger 2002/⁷ ², die in der Literatur beschrieben sind, ergibt sich eine enorme Spanne für den absoluten Wasserbedarf eines Betriebes. Dieses Phänomen zu untersuchen ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Des Weiteren soll hier nicht auf die unterschiedlichen Beschaffungsstrategien des benötigten Wassers eingegangen werden, wenngleich diese bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eine bedeutende Rolle spielen. Für die meisten Betriebe ist jedoch die Wasserbeschaffungssituation eine standortbezogene Rahmenbedingung, die nur sehr schwer beeinflusst werden kann.

Es soll hier vielmehr anhand eines konkreten Betriebes ohne Eigenwasserförderung ein Gesamtkonzept für das Wassermanagement entworfen werden, wozu zunächst die detaillierte Betrachtung der vorliegenden Wasserströme erforderlich war.

3.1 Wasserverwendung in einer Brauerei 1996

Auf Basis von gemessenen Verbrauchsdaten für das Jahr 1996 wurde das nachfolgende Sankey-Diagramm /S.Draw 2006/⁸ erstellt. Darin ist die Ausgangssituation des Wassermanagements zu Beginn der Arbeit dargestellt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

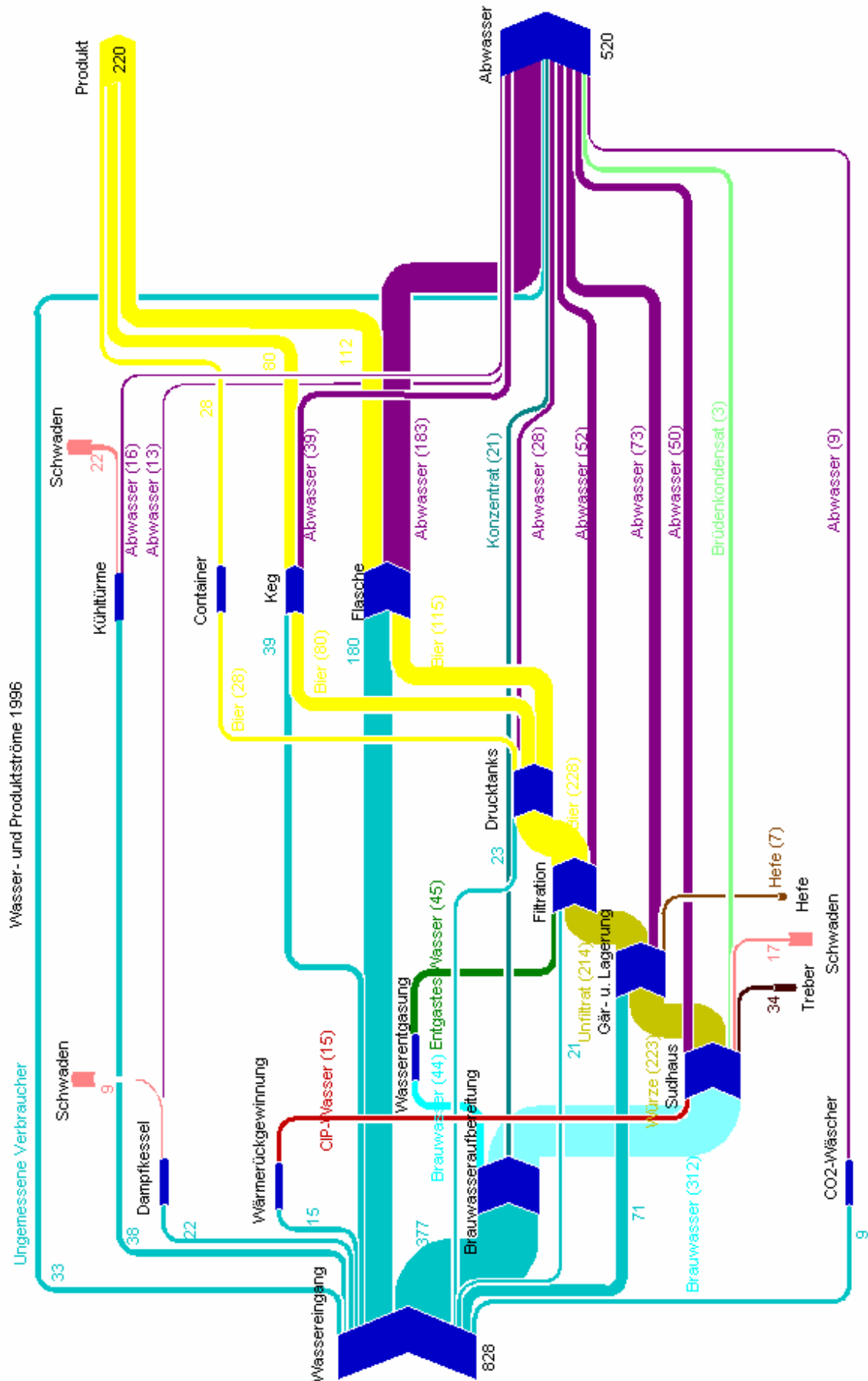


Abbildung 3-1 Sankey-Diagramm der Wasser- und Produktströme einer Brauerei 1996 Stromdaten in 10^3 m^3

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Das Diagramm stellt die wesentlichen Wasser- und wasserhaltigen Stoffströme bei der Bierherstellung dar. Bei den Feststoffströmen ist nur der Wasseranteil ausgewiesen. Ströme von weniger als 500 m³/a wurden in die Betrachtung nicht aufgenommen.

Aus dem Diagramm geht hervor, dass zum Betrachtungszeitpunkt alle Wasserverbraucher mit Wasser direkt vom Wassereingang mit Frischwasser versorgt wurden. Interne Kreisläufe waren noch nicht vorhanden. Der spezifische Frischwasserverbrauch des Betriebes lag bei 3,8 l/l verkauften Bieres.

Neben der rein wassertechnischen Betrachtung wurde auch die eingesetzte Brau-Verfahrenstechnik einer kritischen Untersuchung unterzogen und daraus zahlreiche Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet, deren Ziel unter anderem war, den Einsatz von Frischwasser möglichst zu vermeiden. (Vgl. Kap 3.3)

3.2 Anforderungen an die verschiedenen Wasserströme

Eine weitere aufschlussreiche Übersicht ergibt sich, wenn man die Wasserströme in der Brauerei nach ihren Verwendungen und Grundanforderungen einteilt. Es zeigt sich, dass längst nicht für alle Wasserströme die gleichen Anforderungen bestehen.

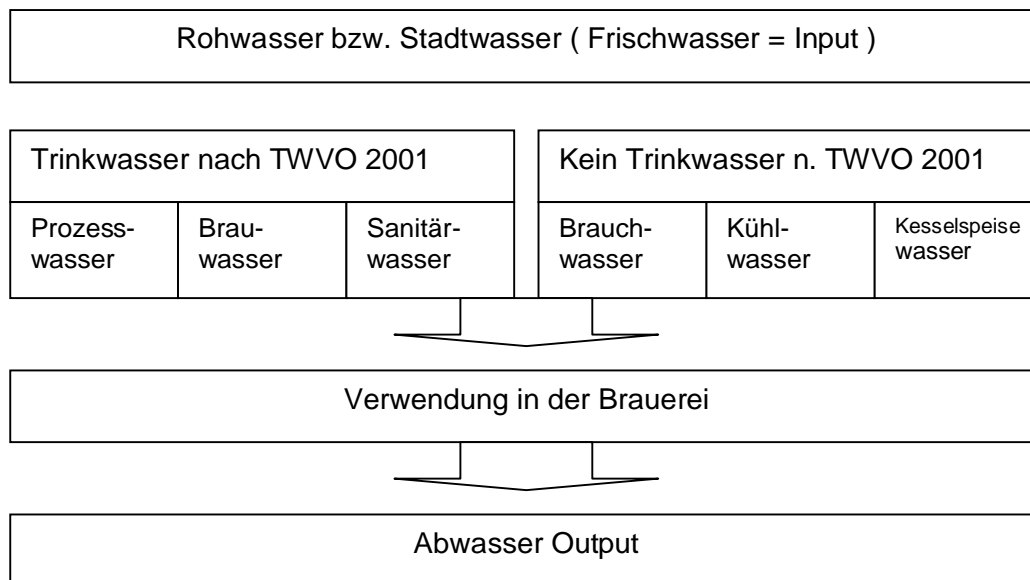


Abbildung 3-2 Die wichtigsten Wasserarten in der Brauerei /Walter 2005/⁹

Unter Frischwasser ist hier grundsätzlich Wasser verstanden, das als Input von außen den internen Verbrauchern zugeführt wird.

Prozess-, Brau- und Sanitärwasser müssen grundsätzlich die Anforderungen der Trinkwasserverordnung erfüllen.

Als Prozesswasser wird hier Wasser verstanden, das möglicherweise oder sicher Kontakt mit dem Produkt erfährt.

Brauwasser dient unmittelbar der Herstellung von Bier und muss über die Anforderungen der TWVO hinaus weit reichende Anforderungen an Ionenzusammensetzung, Härte und Hygiene erfüllen.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Sanitärwasser im hier verwendeten Sinne dient der Versorgung aller Sozialeinrichtungen und muss daher der TWVO entsprechen.

Mit Brauchwasser wird dasjenige Wasser bezeichnet, das in Produktionsschritten verwendet wird, bei denen kein Produktkontakt möglich ist, bspw. bei der Außenreinigung von Behältern. Dieses muss nicht zwingend der TWVO entsprechen.

Auch Kühlwasser und Kesselspeisewasser müssen der TWVO nicht entsprechen, unterliegen aber anderen Vorschriften, wie bspw. den Technischen Regeln für Dampfkessel, in denen spezielle Anforderungen in Abhängigkeit der Betriebsweise festgelegt sind.

Die von Walter /Walter 2005⁹ beschriebene Unterscheidung macht deutlich, dass eine Einteilung nach der jeweiligen Anforderung mögliche Einsparpotentiale aufdecken kann, jedenfalls aber erforderlich ist, wenn interne Wasserkreisläufe aufgebaut werden sollen.

In dem in dieser Arbeit betrachteten Betrieb wurde von Anfang an definiert, dass auch wieder aufbereitetes Wasser, das als Brauchwasser eingesetzt werden sollte, in mikrobiologischer und toxikologischer Hinsicht die Anforderungen der Trinkwasserverordnung /TWVO (1991) 2001/¹⁰ erfüllen muss.

Mindestanforderungen an den Gehalt von Inhaltsstoffen sollten jedoch nicht in Betracht gezogen werden für die Verwendung als Brauchwasser. Damit ergeben sich in technischer und technologischer Hinsicht keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Anforderungen an Prozesswasser und an Brauchwasser, sehr wohl jedoch lebensmittelrechtliche Unterschiede bspw. im Hinblick auf die Überwachungsroutine, die für Trinkwasser in der Trinkwasserverordnung detailliert vorgeschrieben ist.

3.3 Wasserverwendung in einer Brauerei 2005

Ausgehend von der Situation der Wasserverwendung 1996 wurden zahlreiche Maßnahmen ergriffen, den Wasserverbrauch zu reduzieren. Dabei wurde strikt nach der Maxime „Vermeiden ist besser als Wiederverwendung“ gehandelt. Einige der Maßnahmen werden in Kapitel 9 ausführlicher dargestellt.

Für nicht vermeidbare Ströme wurde parallel zur praktizierten Vermeidungsstrategie nach Möglichkeiten der Wiederverwendung gesucht.

Bereits seit 2001 erhielten die Kühltürme einen Teil ihrer Versorgung aus bereits einmal genutztem Wasser, in der internen Terminologie Zweitwasser genannt. Dabei handelte es sich um Ausschubmengen aus den Abteilungen Filtration, Drucktank und Gärung und Lagerung sowie Absalzwasser der Kesselanlagen. Der über das vorhandene Zweitwasser hinausgehende Bedarf an Frischwasser für die Kühltürme wurde später durch biologisch gereinigtes Abwasser substituiert. Damit konnte zwar der Frischwassereinsatz vermieden werden, jedoch entstand ein erhöhter Aufwand für die Reinigung des Systems.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Als weitere wieder verwendbare Ströme wurden das Brüdenkondensat aus der Würzekochung, die Regenerationslauge des Stabilisierungsmittels in der Filtration und das Waschwasser der CO₂-Rückgewinnung identifiziert und deren Wiederverwendung realisiert.

Das folgende Sankey Diagramm stellt die Wasser- und wasserhaltigen Produktströme des Betriebes im Jahr 2005 dar. Ströme mit weniger als 500 m³/a wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

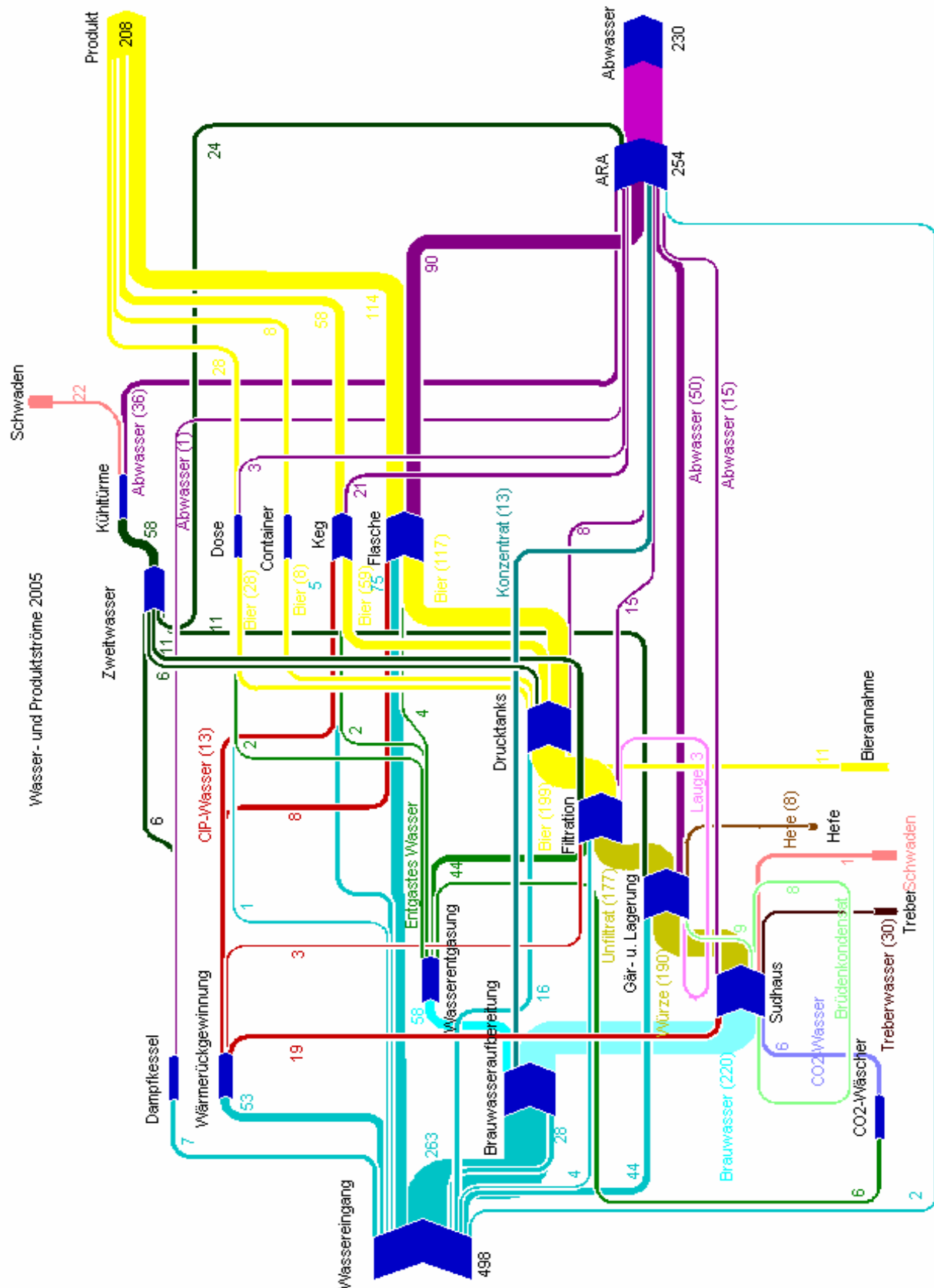


Abbildung 3-3 Sankey-Diagramm der Wasser und Produktströme einer Brauerei 2005 Stromdaten in 10^3 m^3

Die dargestellte Situation ist die Ausgangsbasis für die Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes (vgl. Kap 7) und die Wirtschaftlichkeitsanalyse (vgl. Kap 8)

4. Industrielles Abwasserrecycling mit Membranen - Stand der Technik

Hinweise in der Literatur /Tanish, 1999/¹¹ und die eigene Betriebspraxis zeigen, dass Vorteile im betrieblichen Wassermanagement zunächst durch Wiederverwendung nahe dem Anfall des genutzten Wassers, dann durch Zwischenregeneration zu erzielen sind. Wenn jedoch ein fortgeschrittener Stand der internen Kreislaufführungen erreicht ist, gewinnt eine „End of Pipe Lösung“ ein höheres Einsparpotenzial als durch weitere kleine Schritte erzielbar ist /Glas, K. 2006/¹²

Waren zu Beginn der Untersuchungen noch keine erfolgreichen Beispiele für die Abwasseraufbereitung in der Nahrungs- und Getränkeindustrie beschrieben, findet sich inzwischen sogar ein Beispiel für die Gewinnung von überwachtem Trinkwasser in der Malzindustrie. Die Gewinnung von Brauchwasser aus Abwasser wurde außerdem von mehreren Standorten beschrieben.

Die folgenden Beispiele sollen einen Einblick in die heute angewandte Verfahrenstechnik vermitteln, ohne dabei eine vollständige Darstellung aller Möglichkeiten liefern zu wollen.

4.1 Realisierte Konzepte Stand 2006

4.1.1 Beispiel 1, Malzindustrie, Deutschland, Aerobe Abwasserbehandlung mit nachgeschalteter Umkehrosmose

Bereits seit 1997 betreibt die H. Durst Malzfabriken GmbH & Co. KG in ihrem Werk Gernsheim, Jahreskapazität 97000 t , eine Abwasserbehandlungsanlage mit nachgeschalteter Umkehrosmose zur Gewinnung von Trinkwasser aus Mälzereiabwasser./MUNLV 2003/¹³

Das Mälzereiabwasser hat einen CSB-Gehalt von 1500-3500 mg/l. Dieser stammt aus dem verarbeiteten Getreide und den Beimengungen des Getreides von Ernte und Transport, die bei der Vermälzung gelöst oder abgewaschen werden.

Die Abwasserbehandlung besteht aus einer aeroben biologischen Behandlung nach dem Sequencing-Batch-Reaktor-Verfahren, einer chemisch-physikalischen Behandlung (Eisenchlorid-Fällung) und einer anschließenden Feinfiltration (Stahlgewebetrommel). Der Klarlauf der Filtration dient als Zulauf zur Umkehrosmoseanlage.

Die einstufige Membrananlage verfügt über rund 1300 m² Membranfläche, verteilt auf 36 Wickelmodule in 6 Druckrohren, und erzeugt einen Permeatvolumenstrom von >22m³/h. Damit ergibt sich ein Permeatfluss von 17 l/m²h.

Bei einem Betriebsdruck von 10 bar liegt die Permeabilität der Membran bei 1,7 l/(m²*h*bar).

Es wird ein ungeladenes Antiscalingsmittel dosiert und eine tägliche Spülung der Membran mit Zitronensäure durchgeführt. Die Membranen erreichen eine Lebensdauer von 2 Jahren im Dauerbetrieb. /Lederer, S. 2006/¹⁴

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Das Permeat unterliegt der regelmäßigen Laborüberwachung gemäß Trinkwasserverordnung 2001 und entspricht den Anforderungen. Die Membrananlage erwirtschaftet Einsparungen durch Vermeidung von Abwasserkosten und Frischwasserbezug. /Klee 2006/¹⁵

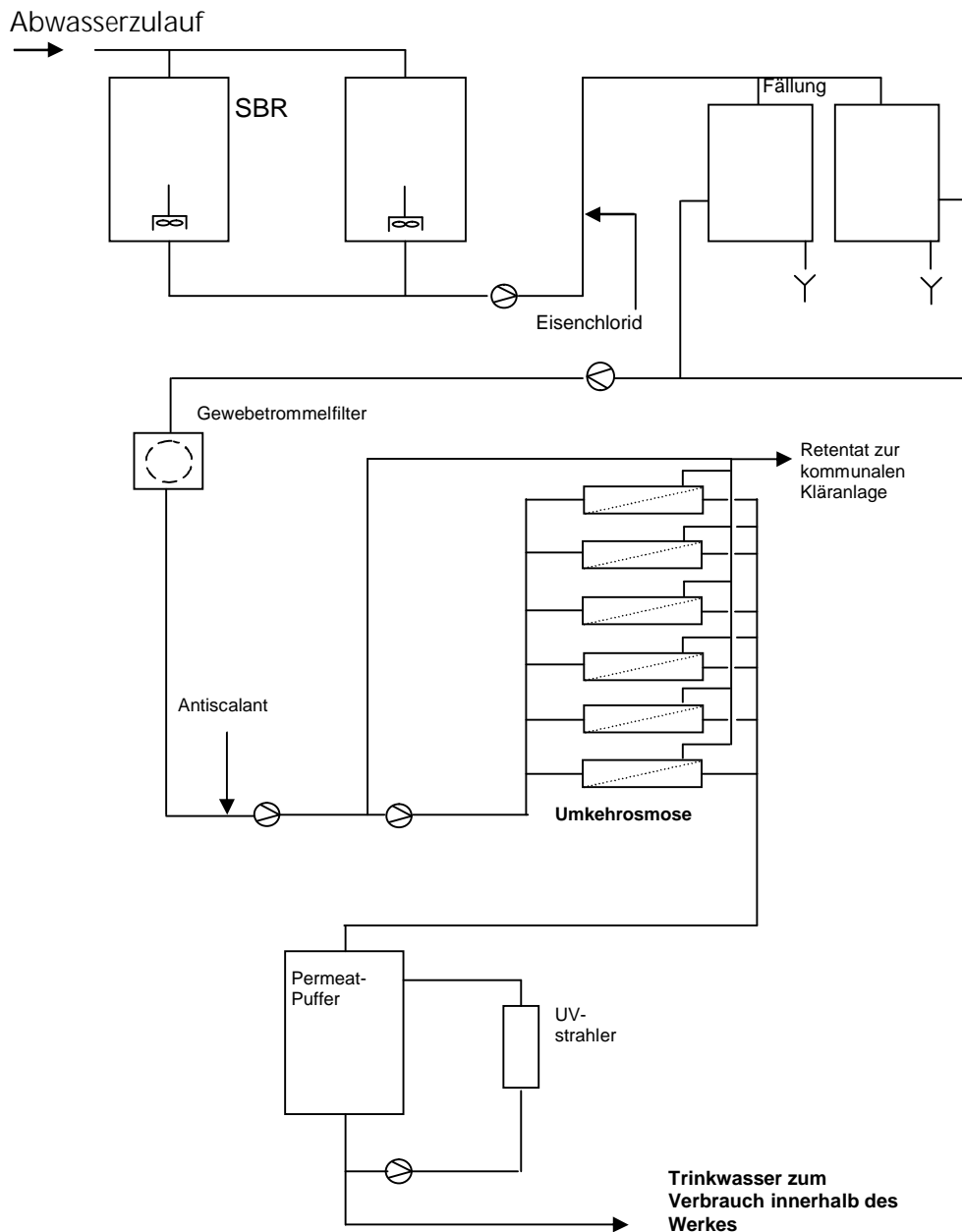


Abbildung 4-1 Vereinfachtes Fließbild Gesamtanlage nach MUNLV¹⁶

Die Ausbeute der Membrananlage liegt in der Praxis zwischen 50 und 60 %./Lederer 2006/¹⁷ Das Verfahren ist als FriSch-Verfahren[®]/ MUNLV 2003/¹⁸ durch Patent geschützt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

4.1.2 Beispiel 2, Brauerei, Australien, Anaerobe Abwasserbehandlung mit nachgeschalteter Mikrofiltration und Umkehrosmose

Die zur Fosters Group gehörende Brauerei Yatala in Queensland, Australien wurde in den vergangenen Jahren seit 2003 neu ausgerichtet und auf eine Kapazität von 5,5 Millionen hl pro Jahr erheblich erweitert./Browne 2005/¹⁹

Im Zuge der Erweiterung wurde die bestehende anaerobe Abwasserbehandlung ebenfalls erweitert und um eine aerobe Prozessstufe ergänzt. Zur Rückgewinnung von Brauchwasser aus dem biologisch endbehandelten Brauereiabwasser wurde eine zweistufige Membrananlage bestehend aus Mikrofiltration und Umkehrosmose errichtet. Die Mikrofiltration ist mit 72 Pall-Microza-Modulen® /Maurer 2006/²⁰ ausgerüstet, die Umkehrosmose mit 30 Filmtec 8'' Wickelmodulen, die bei einem Permeatfluss von 18 l/m²h arbeiten /Merange 2006/²¹.

Das folgende Bild zeigt die zweisträngige Mikrofiltration:



Abbildung 4-2 Pall Membranefiltration in secondary effluent /Pall CUB/²²

Im nachfolgenden Blockschaltbild ist der gesamte Prozess der Wasserführung um die Brauerei dargestellt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

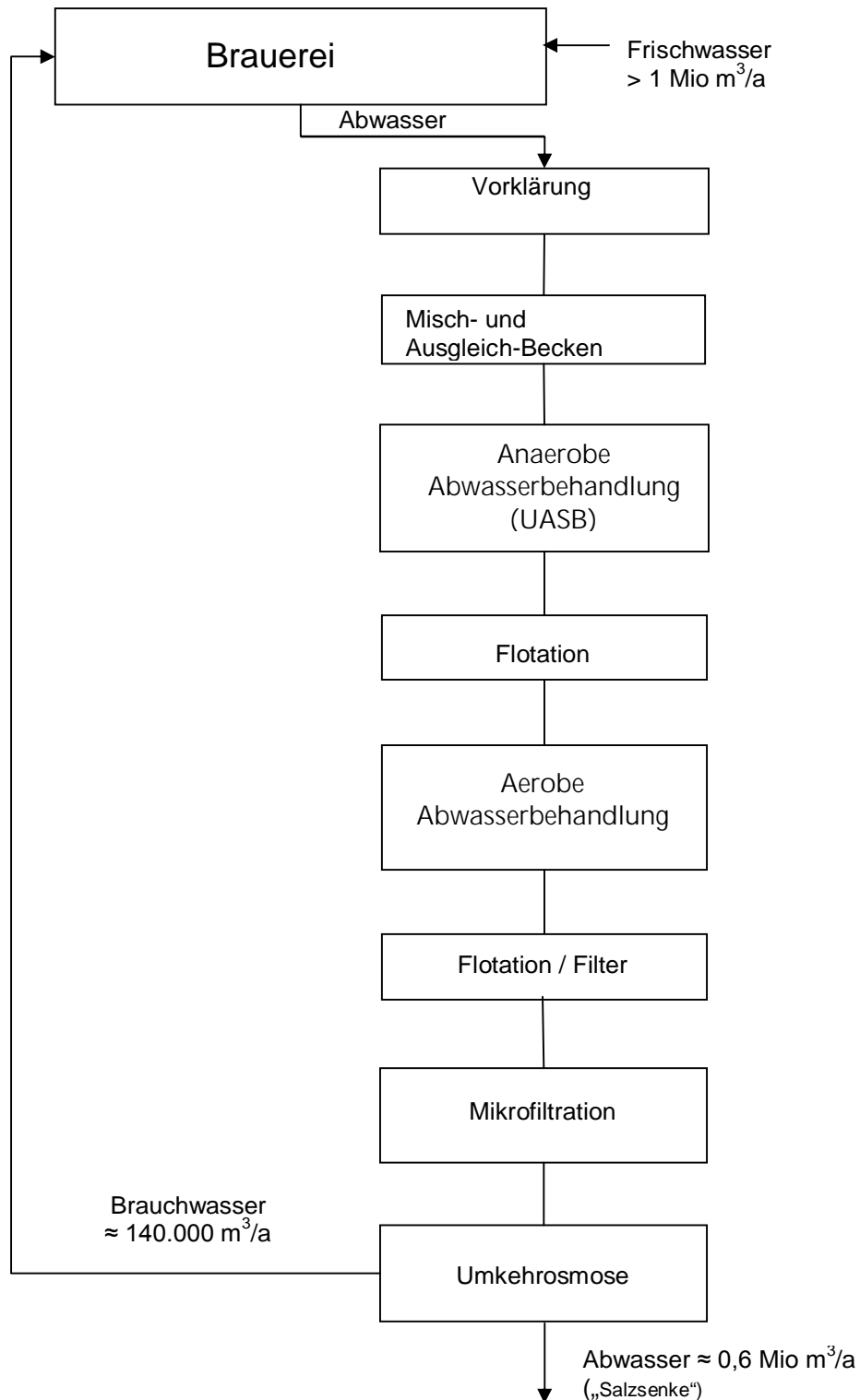


Abbildung 4-3 Blockfließbild Abwasserbehandlung Yatala Brauerei nach /Browne 2005/²³

Fäkalienhaltige Abwässer werden vom Brauereiabwasser getrennt abgeführt und gelangen nicht in die interne Abwasserbehandlung.

Auch wenn der CSB des Permeats unter 10 mg/l und die übrigen Parameter, u. a. Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor, unter den Werten des ankommenden Frischwassers liegen, wird zurück gewonnenes Wasser in der Brauerei

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

ausschließlich in Nebenprozessen und nicht im Produktionsbetrieb eingesetzt./Browne /²⁴

Der Rückhalt der gesamt gelösten Feststoffe der Umkehrosmose liegt über 90%.

Durch die Einführung der Membrantechnik konnte der spezifische Wasserverbrauch der Produktionsstätte um 28% gesenkt werden.

4.1.3 Beispiel 3, Brauerei, Deutschland, Anaerobe Abwasserbehandlung mit nachgeschalteter Ultrafiltration und Umkehrosmose

In einer süddeutschen Großbrauerei wurde nach umfangreichen Voruntersuchungen /Walter 2005/²⁵ ein zweistufiges Membranverfahren zur Rückgewinnung von circa 76.000 m³ Brauchwasser pro Jahr aus biologisch behandeltem Abwasser konzipiert.

Die biologische Abwasserbehandlung ist im folgenden vereinfachten Fließbild dargestellt und umfasst eine Vorversäuerung, eine anaerobe und eine aerobe Behandlungsstufe. Die wesentlichen Teile der Anlage wurden von der Fa. Paques Water Systems ausgeführt.

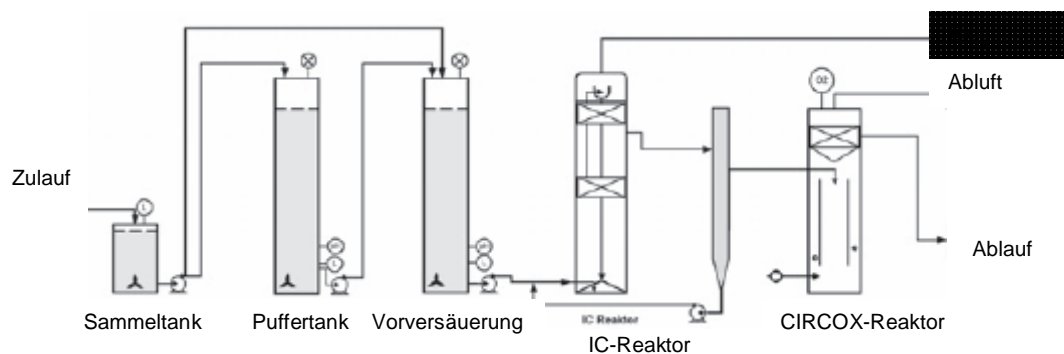


Abbildung 4-4 Abwasseranlage mit BIOPAQ-IC[®]- und CIRCOX[®]-Reaktor.
/Groot Kormelinck 2003/²⁶

Die Anlage erzielt eine CSB-Reduzierung von 84% und toleriert eine durchschnittliche Raumbelastung von 22 kg CSB/m³d in der anaeroben Stufe und 4-5 kg CSB/m³d in der aeroben Stufe. Das gereinigte Abwasser wird an den kommunalen Entsorger abgegeben, so dass Direkteinleitungsbedingungen nicht eingehalten werden müssen./Walter 2005/²⁷

Das ablaufende Abwasser ist durch die in der folgenden Tabelle dargestellten Parameter charakterisiert:

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Abwasserparameter	Wert
durchschnittliche Menge	ca. 80 m ³ /h
Temperatur	27 °C
PH-Wert	7,6
Leitfähigkeit	4 mS/cm
CSB (unfiltriert)	820 mg/l
BSB ₅	400 mg/l
CSB (filtriert mit Laborfilter)	350 mg/l
CSB (1h abgesetzt)	520 mg/l
Trockensubstanz	400 mg/l
absetzbare Stoffe	15 ml/l
NH ₄ -N	31,0 [mg/l]
PO ₄ -P	25,4 [mg/l]

Tabelle 4-1 Abwasserdaten einer süddeutschen Brauerei nach biologischer Vorbehandlung /Walter 2005/²⁸

Dieses Wasser wird mit einer Anlage weiter verarbeitet, die auf der Basis der Pilotierung nach folgendem Schema errichtet wurde.

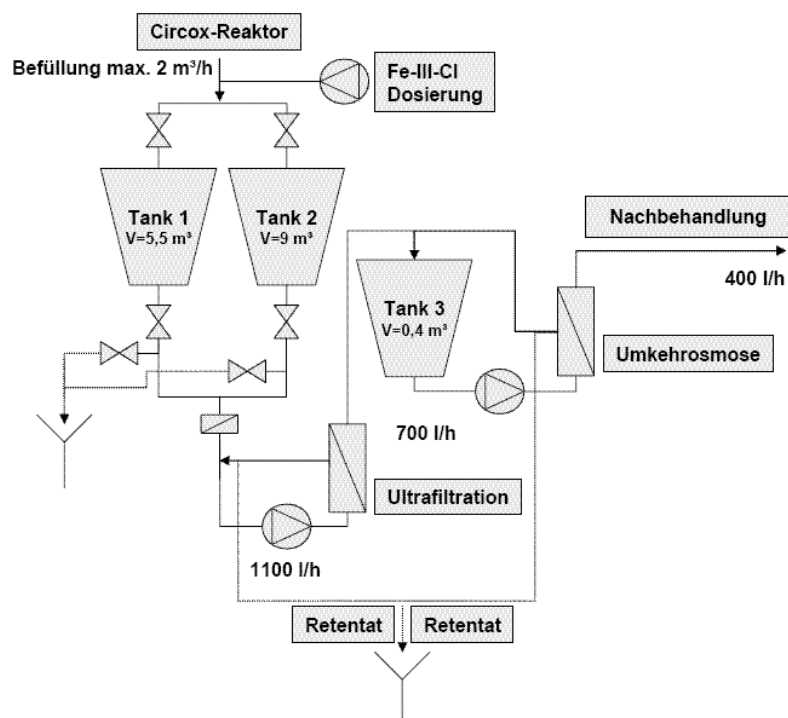


Abbildung 4-5 Schema der Pilotanlage nach Walter 2005²⁹

In den Tanks 1 und 2, die alternierend betrieben wurden, fand eine Sedimentation statt. Zwischen Sedimentation und Ultrafiltration war ein Schutzfilter (0,5 mm)

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

eingebaut. In der Ultrafiltration kamen Hohlfasermodule des Typs FS10-FUS 0382 der Fa. Nadir mit einem Innendurchmesser von 0,8 mm im Cross-Flow-Betrieb zum Einsatz. Die Umkehrosmose war mit BW30-4040 Modulen ausgerüstet.

Die Ultrafiltration konnte über 50 h mit einem Fluss von 80 l/m²h betrieben werden bevor sie gereinigt wurde. Dabei wurde alle 10 Minuten eine Rückspülung durchgeführt.

Die Umkehrosmose erreichte im Pilotversuch bei 40-stündigen Betriebsphasen zwischen zwei Reinigungen einen Fluss von 15 l/m²h bei 8-10 bar Transmembrandruck.

Die Reinigung der Membranen erfolgte enzymatisch, sauer und alkalisch./Walter 2005/³⁰

Die Untersuchung des Permeats nach Trinkwasserverordnung 2001 ergab nur beim Ammonium, dem Geruch und der Trübung Grenzwertüberschreitungen. Biologische Parameter wurden nicht untersucht, da eine Nachbehandlung ohnehin vorzusehen war./Walter 2005/

Die folgende Abbildung zeigt im vereinfachten Verfahrensschema die Einbindung der realisierten technischen Anlage.

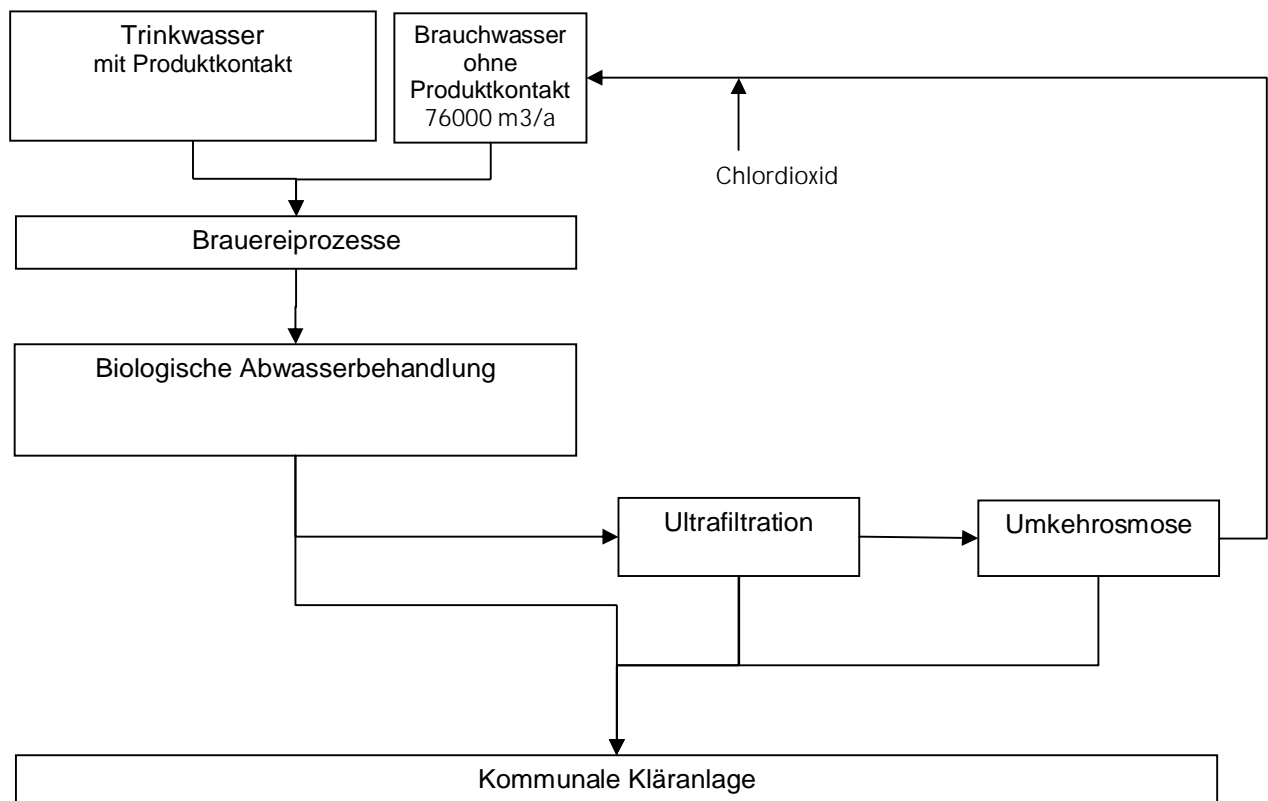


Abbildung 4-6 "End of Pipe" Lösung /Glas 2006/³¹

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

4.1.3 Beispiel 4, Textilindustrie

Ohne an dieser Stelle auf technische Details eingehen zu können, soll verdeutlicht werden, dass in der Textilindustrie, in deren Kostenstruktur die Wasserver- und entsorgungskosten eine maßgebliche Rolle spielen, schon technische Anlagen installiert waren, als in der Getränkeindustrie die ersten Vorüberlegungen angestellt wurden.

Seit 1997 wird In der Textilveredelung Gerhard van Clewe, Dingden, eine dreistufige Membrananlage, bestehend aus Ultrafiltration, Nanofiltration und Umkehrosmose betrieben. /Pinnekamp 2003/³² Die Einbindung in den Prozess ist in der folgenden Abbildung vereinfacht dargestellt:

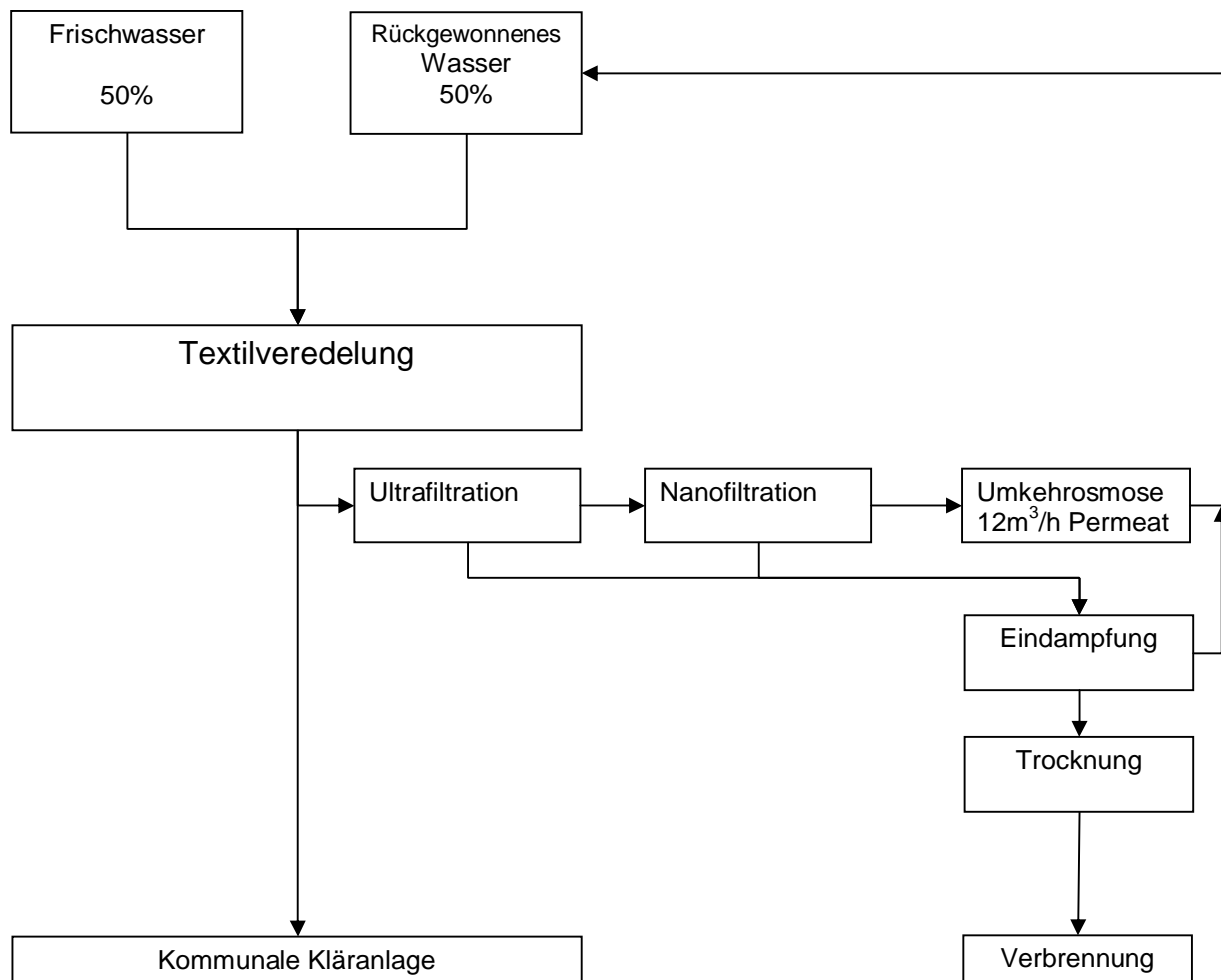


Abbildung 4-7 Verfahrensschema dreistufige Abwasseraufbereitung mit Membrantechnik nach /Pinnekamp 2003/³³

In der Ultrafiltration sind keramische Rohrmodule der Firma atech innovations GmbH eingesetzt, die Wickelmodule der Nanofiltration und Umkehrosmosemembranen wurden von Osmonics geliefert.

In der Ultrafiltration werden dispergierte Stoffe, in der Nanofiltration Farbstoffe und ein Teil der Salze und in der Umkehrosmose der überwiegende Salzanteil sowie der CSB - zu 97% - entfernt, so dass das Permeat wieder als Prozesswasser eingesetzt werden kann.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Ultrafiltration wird nach jeweils 3 min rückgespült. Einmal wöchentlich werden die Membranen chemisch gereinigt.

Die keramischen Membranen sind seit mehr als sieben Jahren im Einsatz, ohne dass ein Leistungsverlust feststellbar ist. Die Standzeiten der Polymermembranen betragen 1,5 Jahre.

4.2 Weitere Ansätze, Wasser Pinch Methode

Von den vielfältigen Lösungsansätzen für die Probleme der Wasserwirtschaft und Abwasserentsorgung soll an dieser Stelle noch die Wasser-Pinch-Methode nach Linnhoff March /Tanish 1999/³⁴ und die erweiterte Wasser-Pinch-Methode nach Henßen /Henßen 2004/³⁵ erwähnt werden.

Es handelt sich dabei um systemanalytische Ansätze, die ausgehend von der Pinch-Methode in der Energieoptimierung entwickelt wurden. Sie gehen davon aus, dass ähnlich wie bei der Energieoptimierung für das Energieniveau, für jeden Teilprozess, der als Waschprozess aufgefasst wird, für jede Kontaminante im Wasserstrom ein mathematisches Modell zur Verfügung steht. Mit dem Modell muss sich der Prozess - die Aufteilung der Kontaminanten auf Einzelströme und die Verknüpfung der Prozessschritte - beschreiben lassen. Weiterhin ist es für die Methode erforderlich, die zulässigen Eintrittskonzentrationen jeder Kontaminante in jedem Teilprozess zu kennen.

Anders als bei der Energieoptimierung handelt es sich beim Wasser und seinen zahlreichen Kontaminanten im Prozess der Bier- und Getränkeherstellung nicht um ein eindimensionales, sondern um ein multidimensionales Problem. Zulässige Ein- und Ausgangskonzentrationen sind für manche Kontaminanten nicht definierbar oder sind aus nicht-prozesstechnischen (bspw. rechtlichen) Gründen auf 0 festgelegt.

Neben der hohen Komplexität, die der Anwendung der Methodik entgegensteht, stellt die Definition der Randbedingungen ein hohes Hindernis für die Anwendung dar.

Darum wurden die genannten Methoden im Rahmen dieser Arbeit nicht angewendet, wenngleich in den verfolgten Zielen Übereinstimmung besteht.

5. Entwicklung der Abwasseranlage einer westdeutschen Großbrauerei

5.1 Misch- und Ausgleichsbecken mit Belüftung

5.1.1 Aufbau der Anlage in der Ausgangssituation

Die Abwasseranlage bestand zu Beginn aus den Teilanlagen Sieb, Pumpenvorlage/Mischpuffer sowie 2 Misch- und Ausgleichsbecken. Die Misch- und Ausgleichsbecken wurden im Parallelbetrieb beschickt und entleert. Sie verfügten jeweils über zwei Tauchbelüfter vom Typ TA 2400 V2A AFP 100 der Fa. Frings. Die Anlage diente, da die Brauerei keinen Direkteinleiterstatus anstreben konnte, zunächst nur zur Vergleichmäßigung des Volumenstromes und sollte durch die Belüftung die Entstehung von Geruchsbelästigung sicher verhindern. Der Aufbau der Anlage ist schematisch in der folgenden Abbildung dargestellt.

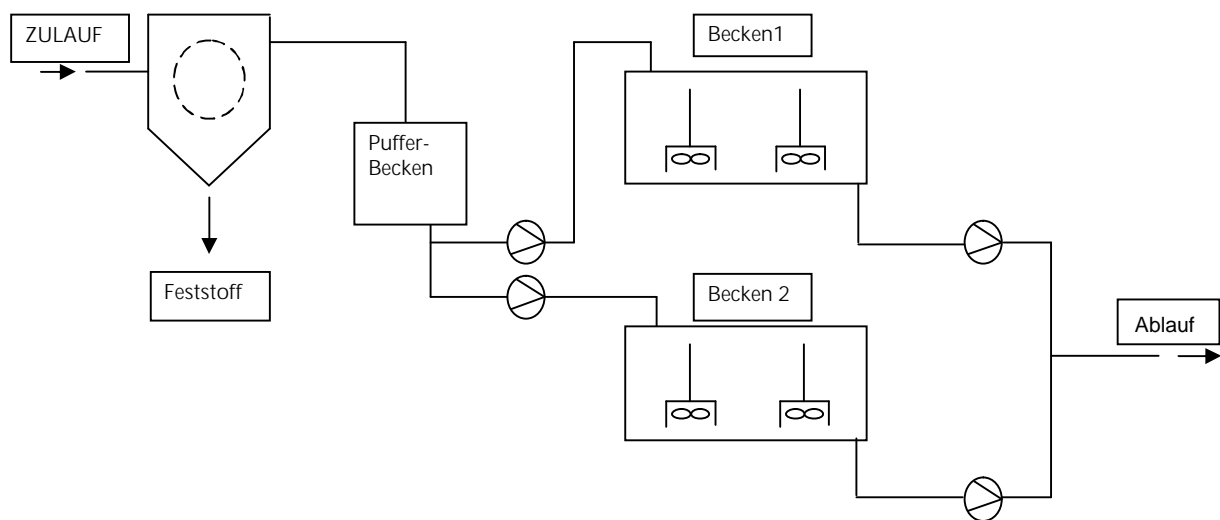


Abbildung 5-1 Misch- und Ausgleichsbecken

Stand 1996

Jedes Behandlungsbecken ist ausgestattet mit einer Onlinemessung für pH, Temperatur und Sauerstoff.

Die wichtigsten technischen Daten der Anlage sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Misch und Ausgleichsbecken		1996
Technische Daten		
Nutzvolumen Pufferbecken	95	m ³
Bruttovolumen je Becken	2200	m ³
Nutzvolumen je Becken	1981	m ³
Grundfläche	283	m ²
Durchmesser	19	m
Bauweise	Stahlbeton, unterirdisch, befahrbar	
Sauerstoffeintrag je Tauchbelüfter bei 6 m Füllhöhe	68	kgO ₂ /h

Tabelle 5-1 Misch- und Ausgleichsbecken technische Daten 1996
/ABS 1997/³⁶ /Randschau 2005/³⁷

5.1.2 Betriebsdaten der Anlage 1996

Die wesentlichen Abwasserdaten aus dem Jahre 1996 sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Misch- und Ausgleichsbecken		1996
Betriebsdaten		
Jahresabwassermenge	520680	m ³ /a
Tagesdurchschnittsmenge	1425	m ³ /d
CSB - Durchschnittswert	1144	mg/l
N-gesamt - Durchschnittswert	36	mg/l
P - Durchschnittswert	13	mg/l
Absetzbare Stoffe	36	ml/l
Mittlere Belastungszahl	28350	

Tabelle 5-2 Misch- und Ausgleichsbecken Betriebsdaten 1996
/Randschau 1997/³⁸

Die Belastungszahl ist direkt proportional zu den zu entrichtenden Gebühren und ist vergleichbar den Einwohnerequivalenten unter Berücksichtigung von CSB, absetzbare Stoffe, N-ges und Phosphat, /HosangBischof 1998/³⁹.

Die Jahresgebühren wurden jedoch nicht auf Basis der mittleren Belastungszahl, die im Übrigen differiert von der Belastungszahl aus den Mittelwerten, sondern aus dem Durchschnitt der 35 Tageshöchstwerte eines Jahres ermittelt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

5.1.3 Vorversuch Festbettreaktor 1996

Im Rahmen einer Studie, die in Zusammenarbeit mit der Firma Envicon Klärtechnik GmbH & Co durchgeführt wurde, sollten die Möglichkeiten zur biologischen Reinigung des Abwassers der Brauerei mit Hilfe der Festbett-Technologie experimentell untersucht werden./Chromik 1996/⁴⁰

Die Versuchsanlage der Firma Envicon war eine Containerkläranlage mit der Bezeichnung VCK Typ A. Die Anlage war wärmeisoliert und bestand im Wesentlichen aus einem Abwasserbehandlungsbecken und zwei Maschinenräumen. Das Becken, ein Kammerkaskadenreaktor, war unterteilt in eine Vorklärung (Volumen circa 3,3 m³), den Festbettreaktor (Volumen ca. 6,5 m³) und eine Nachklärung (Volumen ca. 3,3 m³). Vor- und Nachklärung waren in je 6 Kammern unterteilt. Am Boden dieser Kammern befand sich eine Förderschnecke für den Transport des sedimentierenden Schlammes.

Der Bioreaktor war in 5 Kammern unterteilt, wobei jede Kammer mit Membranrohrbelüftern und Festbettmaterial des Typs BIOPAC 15 ausgerüstet war. Zur Grobstoffabscheidung war ein Trommelsieb installiert.

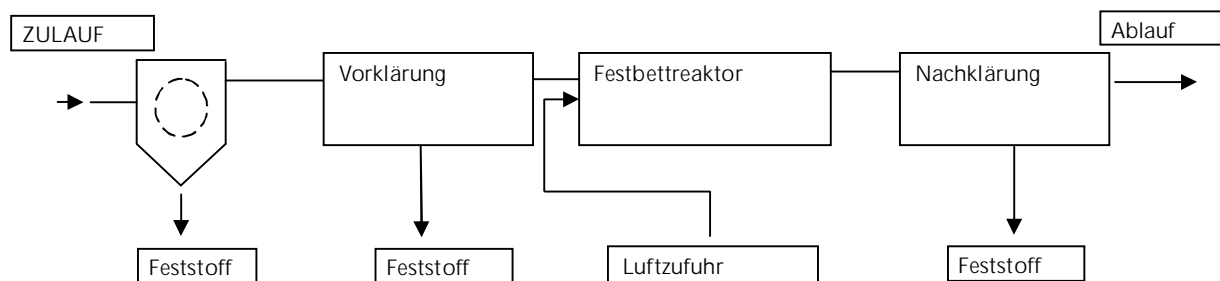


Abbildung 5-2 Verfahrensschema Festbettreaktor

Ausgehend von den in der folgenden Tabelle dargestellten Abwasserparametern wurden die Ziele der Abwasserbehandlung wie in Tabelle 5-4 dargestellt definiert.

Abwasserparameter	
CSB	1400 mg/l
BSB ₅	1000 mg/l
CSB/BSB ₅	1,4
N-ges	60 mg/l
P-ges	20 mg/l
BSB ₅ /N/P	100/6/2

Tabelle 5-3 Abwasserparameter Misch und Ausgleichsbecken 1996

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Reinigungsziele	
CSB	<110 mg/l
BSB5	<25 mg/l
NH ₄ -N	<10 mg/l
P-ges	<2 mg/l

Tabelle 5-4 Reinigungsziele biologische Abwasserreinigung

Zur Inbetriebnahme wurde die Versuchsanlage zu je 50 % mit Reinwasser und mit Abwasser gefüllt. Danach wurde die Anlage über einen Zeitraum von 3 Tagen ohne Abwasserzulauf belüftet. Die Versuchsanlage wurde in der Einfahrphase mit 390 l/h beschickt. Die Zulaufmenge wurde in den ersten 4 Wochen des Einfahrbetriebes stufenweise auf 270, 170, 150 und 100 l/h reduziert. Die unterschiedlichen Betriebszustände der Versuchsanlage während der Versuchsphase, die mit einem Volumenstrom von 100 l/h begann, und deren genaue zeitliche Zuordnung sind der Ergebnis- und Auswertungstabelle im Anhang ...zu entnehmen. Die Einfahrphase ermöglichte den Aufbau des Biofilms auf der Festbettoberfläche und die Anpassung der Mikroorganismen an die spezielle Abwassercharakteristik. In der anschließenden Belastungsphase wurde die Abwassermenge in Schritten zunächst auf 320 l/h, 400 l/h und dann auf 600 l/h und 1000 l/h erhöht. In der zweiten Belastungsphase wurde der Abwasserzulauf zwischen 1000 l/h und 600 l/h variiert, um die Reaktion der Biologie auf wechselnde Belastungszustände festzustellen.

Über den überwiegenden Teil der Versuchsdauer wurden täglich Proben des Zulaufs und des Ablaufs der Versuchsanlage entnommen und die Werte von CSB, N-ges, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N und PO₄-P bestimmt. In weiteren Beprobungen wurden BSB₅-Werte bestimmt. Darüber hinaus wurde regelmäßig die ausgetragene Schlammmenge aus der Nachklärung durch volumetrische Messung bestimmt.

Im Folgenden sind die einzelnen überprüften Parameter dargestellt:

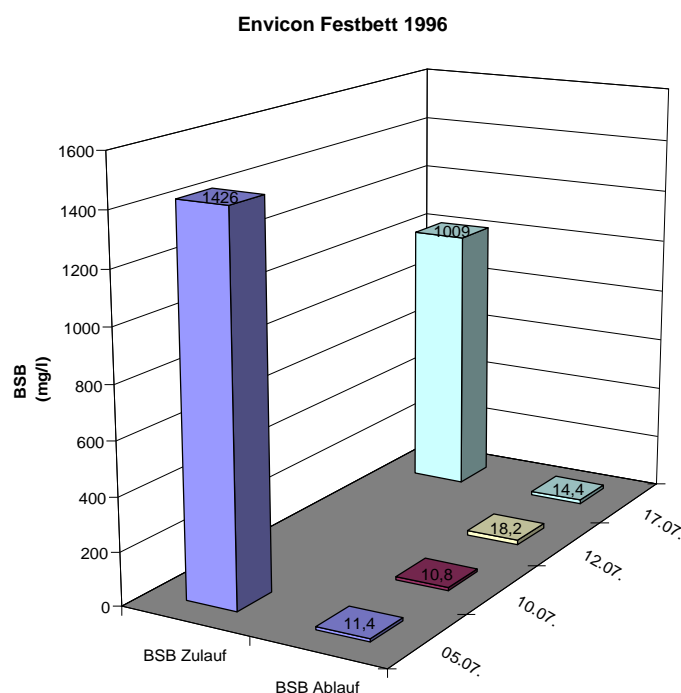


Abbildung 5-3 BSB vor und nach dem Festbett

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Das Ziel, den BSB₅ unter 25 mg/l im Ablauf zu bringen, wurde bei allen vier Stichproben erreicht. Es wurden Werte zwischen 10,8 und 18,2 mg/l ermittelt.

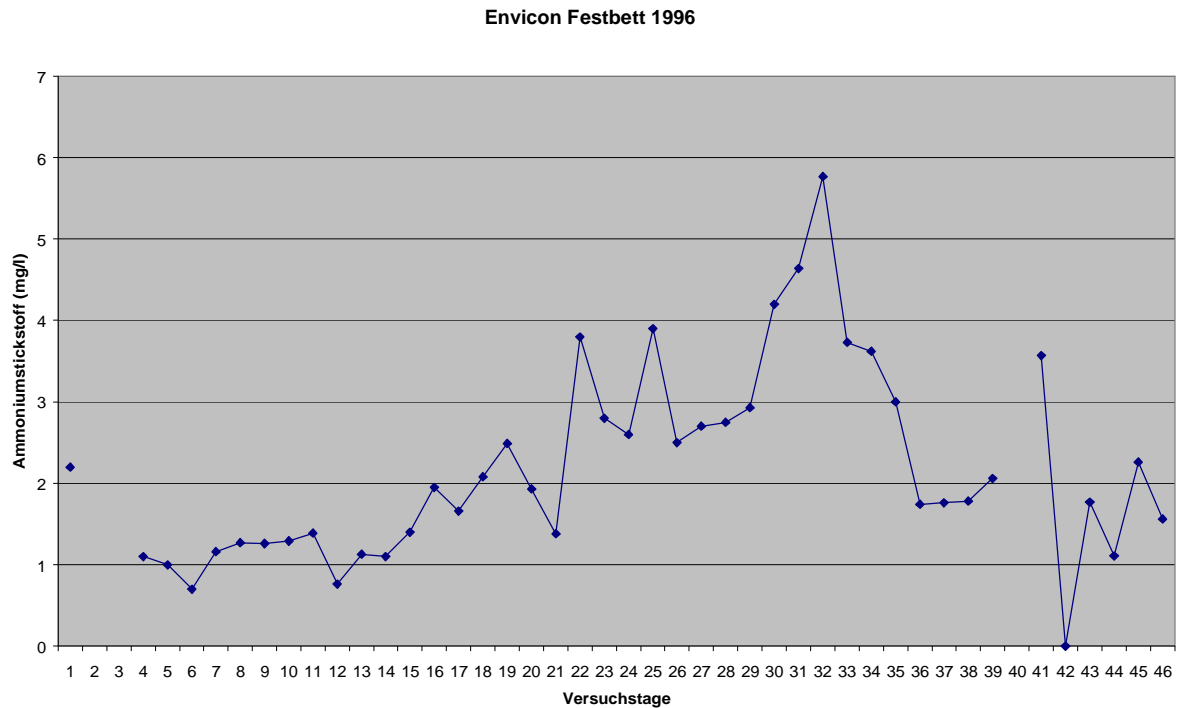


Abbildung 5-4 Ammoniumstickstoff – NH₄-N

Der NH₄-N blieb in allen Proben unter dem gesetzten Maximumwert von 10 mg/l. Er betrug im Mittel 2,3 mg/l bei einem Maximum von 5,7mg/l.

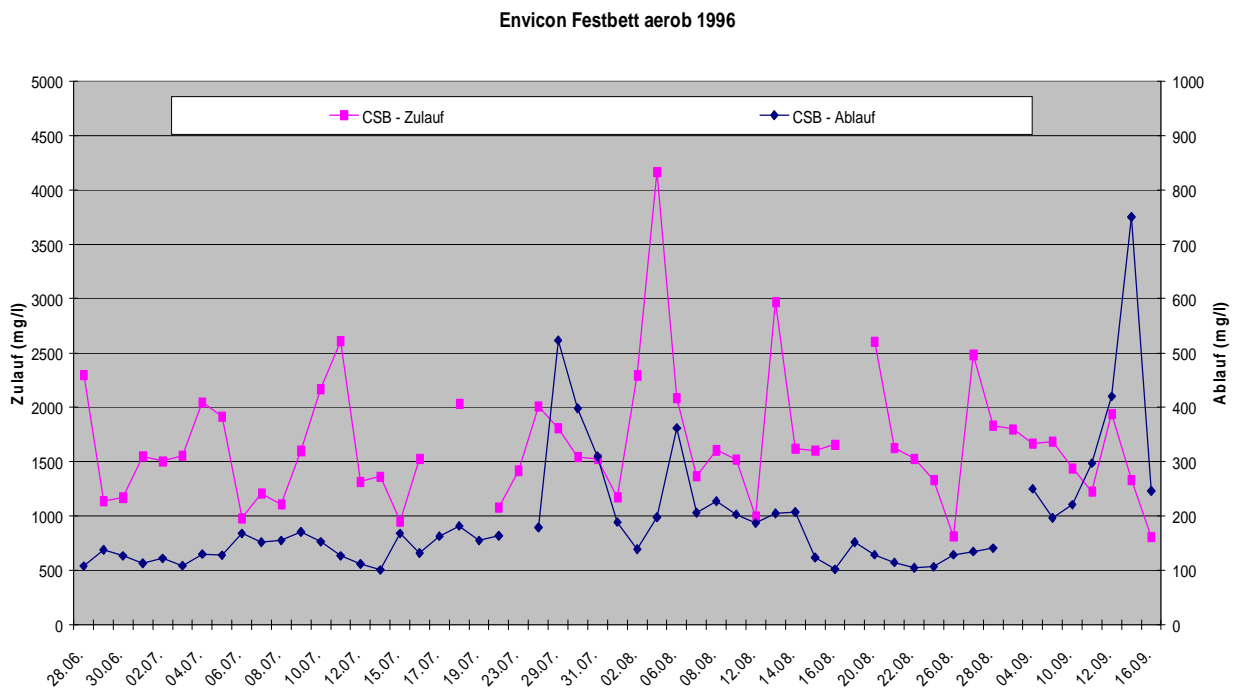


Abbildung 5-5 CSB vor und nach Festbettreaktor

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

In der Abbildung sind die Verläufe des CSB im Zulauf und im Ablauf aufgeführt. Es ist ersichtlich, dass über die gesamte Versuchsphase die Biologie im Reaktor aktiv war.

Das gesteckte Ziel, den CSB dauerhaft unter 110 mg/l zu bringen, konnte nicht erreicht werden. Nur 10,7% der Werte lagen unter 110 mg/l. Der Mittelwert von 56 Tagesproben betrug 193 mg/l.

Es zeigte sich aber, dass erst bei einem Volumenstrom von $1\text{ m}^3/\text{h}$ die CSB-Abbauleistung des Reaktors spürbar nachließ. Außerdem wurde deutlich, dass der überwiegende Teil der CSB-Belastung aerob zu beseitigen war.

Die folgende Abbildung stellt die Abbauleistung gemessen als CSB-Abbaurrate und den Volumenstrom über dem Versuchsablauf dar. Die Abbaurrate lag an 53,6 % der Versuchstage über 90%, insbesondere solange der Volumenstrom nicht größer als $0,4\text{ m}^3/\text{h}$ eingestellt war. Die mittlere Abbaurrate betrug 88%.

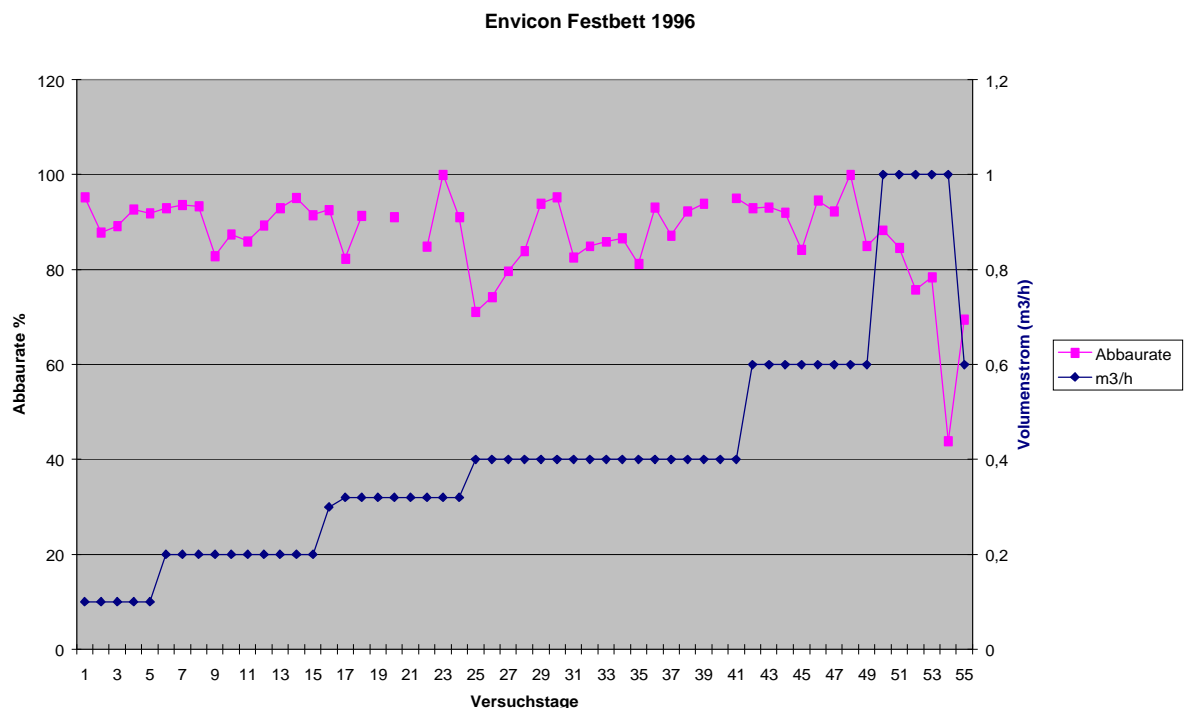


Abbildung 5-6 Abbauleistung und Volumenstrom im Festbettreaktor

Die Parameter Gesamtstickstoff und Phosphat und deren Verhalten sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Eine messbare Verringerung des Gesamtstickstoffs war nur in der Phase mit geringem Volumenstrom ($< 0,4\text{ m}^3/\text{h}$) feststellbar. Auch eine Verringerung des Phosphatgehaltes war bei höheren Volumenströmen nicht mehr gegeben.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

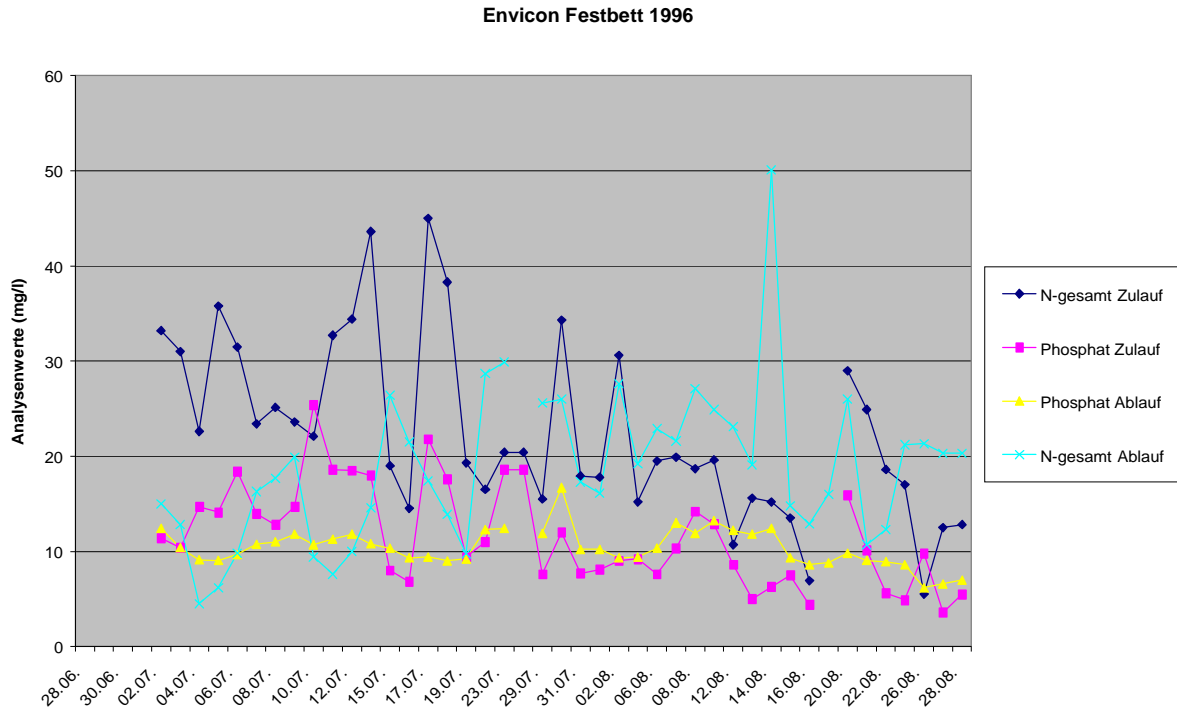


Abbildung 5-7 Analysendaten Festbettreaktor

Ein nicht erwartetes Problem stellte sich in Form des Austrags von Überschussschlamm aus dem Reaktor dar, der im Versuchsverlauf sogar zur Verschlämzung der Nachklärung führte. Der Schlamm im Ablauf nahm mit steigendem Volumenstrom zu.

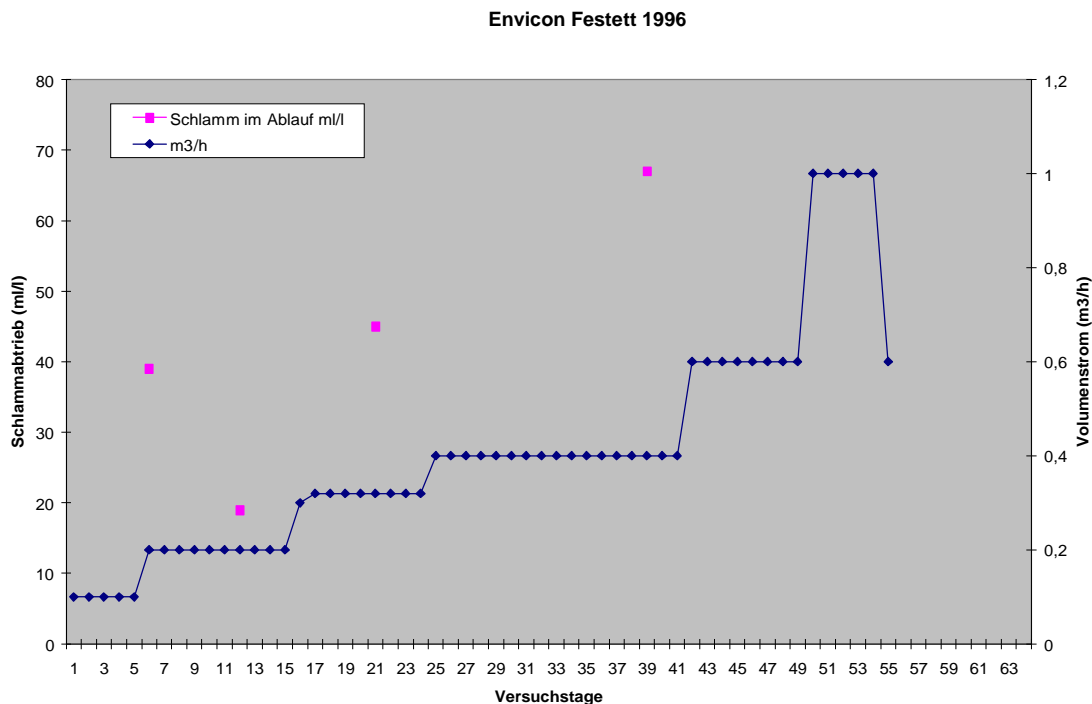


Abbildung 5-8 Schlammvolumen am Reaktorauslauf und Volumenstrom

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Ein weiteres Problem stellte die starke Schaumbildung dar, die zwar im Versuchverlauf durch Zugabe von Entschäumungsmittel erfolgreich bekämpft werden konnte, aber für ein Scale-Up eine erhebliche Erschwernis bedeutete.

Wenngleich die gesteckten Reinigungsziele nur in Teilen erreicht werden konnten, ergaben sich für die künftige Arbeit einige fundamentale Erkenntnisse:

Unter aeroben Verhältnissen ließ sich bei geeigneter Prozessführung der CSB im Brauereiabwasser um über 90% verringern. Bei moderatem Volumenstrom war auch eine etwa 50%ige Stickstoffreduzierung erzielbar und eine etwa 30%ige Phosphatreduzierung.

Eine effiziente Überschussschlammabtrennung ist bei aerober Prozessführung bei der Behandlung von Brauereiabwasser unabdingbar!

5.2 Aerobe Abwasserbehandlung in zwei Stufen mit Sedimentation und Schlammeindickung

Auf der Grundlage der im Festbettversuch gewonnenen Erkenntnisse sollte die vorhandene Misch- und Ausgleichsbeckenanlage weiterentwickelt werden. Die Untersuchung der Eignung der MBR-Technologie nach dem ZenoGem Verfahren der Firma Zenon ist in Kapitel 6.3.1 beschrieben. Wenngleich sich sowohl das Festbett-Verfahren als auch das MBR-Verfahren, soviel sei hier vorweggenommen, grundsätzlich als Möglichkeiten beweisen konnten, entschied sich das Unternehmen zunächst nur für die Implementierung einer Sedimentations- und Eindickungsanlage zur Abtrennung der absetzbaren Stoffe. /Bever, J. 1996/⁴¹

Diese Entscheidung fußte auf der Erwartung, dass die Abwassermenge sich in den kommenden Jahren durch verfahrenstechnische Veränderungen zwar erheblich reduzieren lassen würde, aber das genaue Maß der Reduzierung nicht einmal realistisch abschätzbar war, und somit die Basis für eine solide Langfristkalkulation nicht gegeben war. An der Vergangenheit orientierte Auslegungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen mussten von falschen Voraussetzungen ausgehen.

Um aber nicht untätig abzuwarten, wurde die Sedimentationsstufe zur Abtrennung der absetzbaren Stoffe und eine Dekanterzentrifuge zur Eindickung des Sediments in den Ablauf der Misch- und Ausgleichsbecken eingebaut. /Stadler 2006/⁴² Diese Maßnahme stellte aufgrund der konzeptionellen Flexibilität keine zu frühzeitige Festlegung dar /Bever 1996/⁴³, konnte aber durch die sofortige Entlastung des Abwassers von absetzbaren Stoffen eine deutliche ökologische und ökonomische Verbesserung bewirken. Die Sedimentation ist auf eine Flächenbelastung von $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ausgelegt. Der Dekanter verarbeitet maximal 120 kg/h TS im Zulauf bei einem TS-Gehalt von 15% im ausgetragenen Feststoff.

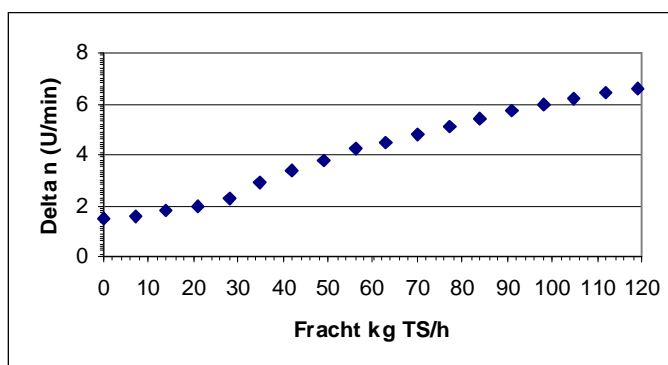


Abbildung 5-9 Differenzdrehzahl in Abhängigkeit der Feststoffzufuhr

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Differenzdrehzahl zwischen Schnecke und Trommel des Dekanters zur Steuerung der Trockensubstanz im ausgetragenen Feststoff wird nicht, wie meist üblich, über eine Drehmomentregelung bestimmt /Alfa-Laval 1999/⁴⁴, sondern in Abhängigkeit des zugeführten Trockensubstanzstromes. Die zugrunde liegende Kurve ist in Abbildung 5-9 dargestellt und wurde empirisch ermittelt. Dies war erforderlich, da durch die thixotrope rheologische Eigenschaft des Schlammes eine Zunahme des Drehmomentes bei zunehmendem Feststoffstrom nicht wie erwartet eintrat. Auch die Variation des als Flockungshilfsmittel eingesetzten Polyelektrolyten änderte nichts an den Eigenschaften des Schlammes.

Schließlich bewährte sich für die Schlammeindickung ein hoch geladenes, vernetztes kationisches Polymer /Ciba 1998/⁴⁵ im Zusammenwirken mit der oben beschriebenen Steuerung der Differenzdrehzahl in Abhängigkeit des Trockensubstanzstromes, um den angestrebten TS-Wert von 15% im ausgetragenen Feststoff stabil zu erreichen. Etwa 60% des insgesamt in einer Konzentration von 200 ppm eingesetzten Polyelektrolyten wurde im Zulauf der Sedimentation dosiert, um dort eine möglichst scharfe Trennung zu erzielen, der Rest wurde im Zulauf des Dekanters dosiert.

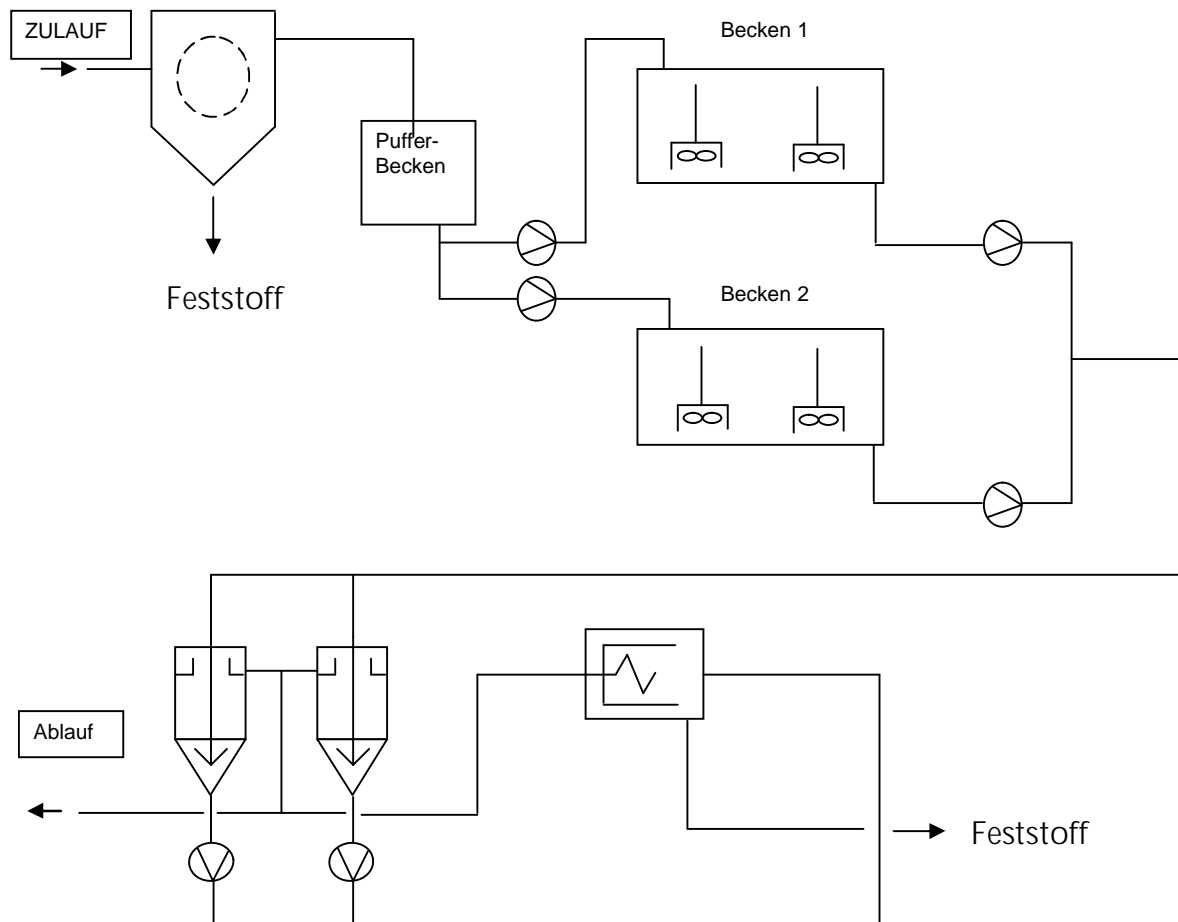


Abbildung 5-10 Abwasserreinigungsanlage Stand 1999

Die in der Abbildung 5-10 dargestellte Erweiterung der Abwasseranlage wurde im Juli 1999 in Betrieb genommen.

Gleichzeitig mit der Inbetriebnahme der Sedimentation, die aus zwei parallel beschickten, zylindrokonischen Edelstahlbehältern mit 65 m³ Bruttovolumen besteht,

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

wurde die Belüftungssteuerung der Becken geändert. War bisher nur belüftet worden, um anaerobe Prozesse und damit Geruchsbildung zu unterbinden, wurde nun so belüftet, dass der Sauerstoffwert in den Becken nicht mehr unter 2,5 mg/l sank. Damit stellte sich die Biologie in den Becken neu ein und die CSB-Abbaurrate konnte erheblich gesteigert werden. Aufgrund der starken Belüftung traten jedoch in der Sedimentation Probleme durch Schwimmschlammbildung auf. Um diesen zu begegnen wurde die Verfahrensweise dahingehend geändert, dass die Durchströmung der Becken von Parallel- auf Reihenbetrieb umgestellt wurde. Damit konnte im zuerst durchströmten Becken eine noch weiter intensivierte Belüftung

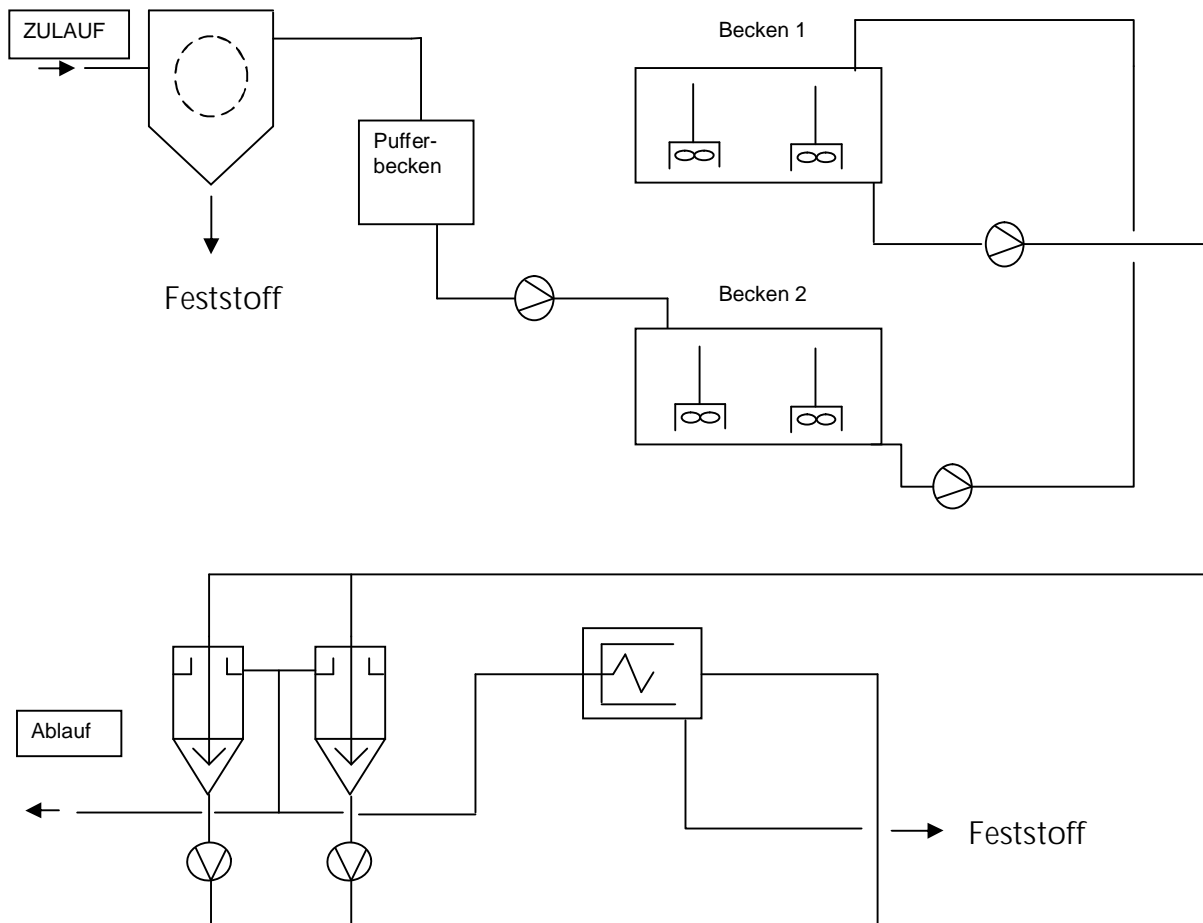


Abbildung 5-11 Abwasseranlage mit Reihenbetrieb der Becken

praktiziert werden, wobei im nachgeschalteten Becken die Belüftung soweit reduziert werden konnte, dass eine einwandfreie Sedimentation gewährleistet werden konnte. Dies wurde dadurch erreicht, dass die Tauchbelüfter im zuletzt durchströmten Becken 1 alternierend und um $\frac{1}{2}$ Takt versetzt mit 810 s Intervall für jeweils 90 s eingeschaltet wurden. Um anaerobe Verhältnisse und die damit verbundene Geruchsbildung aber auch bei außergewöhnlicher Belastung der Anlage sicher zu verhindern, wurde bei Unterschreiten von 1,0 mg/l O_2 -Gehalt in diesem Becken einer der beiden Belüfter solange eingeschaltet bis wieder 2,0 mg/l O_2 erreicht wurden.

Mit der bisher beschriebenen Verfahrensweise konnten im Jahr 2001 die in der folgenden Tabelle dargestellten Abwasserkenngößen im Ablauf erreicht werden:

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Abwasserkenngößen		2001
CSB	mg/l	259
N-Ges	mg/l	23
Abs. Stoffe	ml/l	4
PO4	mg/l	13
mittlere Bel.-Zahl		2154
mittlere Tagesmenge	m ³ /d	654
Jahresmenge	m ³	238769

Tabelle 5-5 Abwasserkenngößen 2001

Die Veränderung der Abwasserkenngößen im Vergleich zu den Daten von 1996 ist in der folgenden Grafik verdeutlicht.

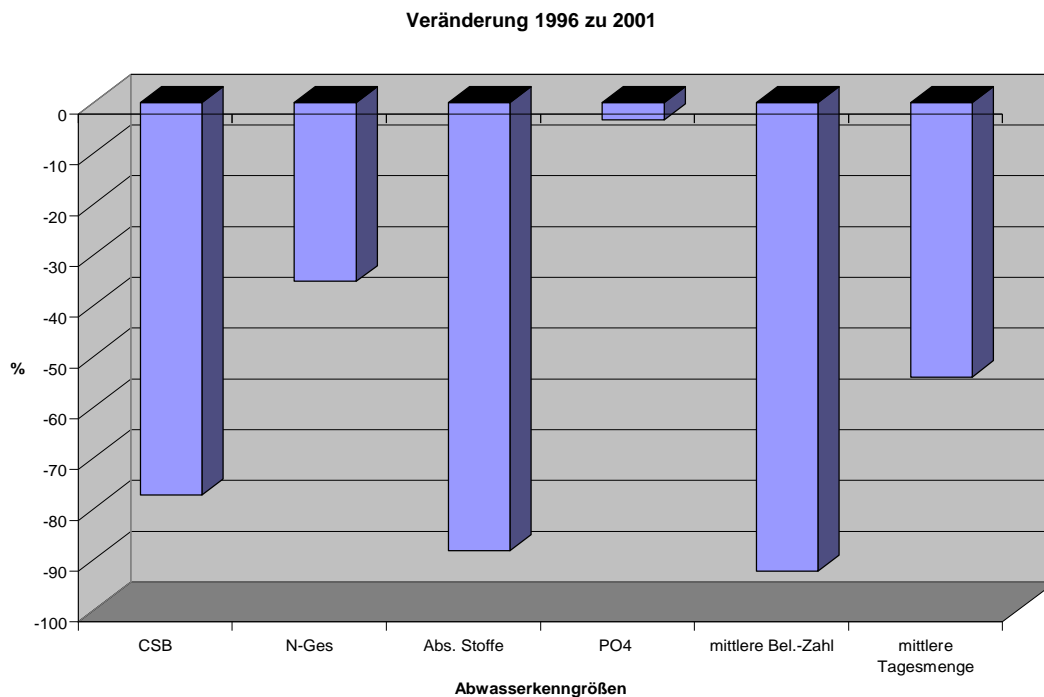


Abbildung 5-12 Veränderung der Abwasserkenngößen 1996-2001

Alle relevanten Größen haben sich im Vergleich vermindert. Der Rückgang der absetzbaren Stoffe um 88% resultiert aus der Implementierung der Sedimentation und zeigt, dass diese im erwarteten Bereich arbeitet. Der Rückgang des CSB um 77 % sowie der mittleren Tagesmenge um 54 % resultiert einerseits aus verschiedenen verfahrenstechnischen Änderungen in den Produktionsanlagen der Brauerei, andererseits aus der geänderten Betriebsweise der Abwasseranlage. Mikroskopische Kontrollen ergaben einen erwarteten Befund von wenigen Hefen und einigen freien Mikroorganismen in der ablaufenden Klarphase wie die folgende Abbildung verdeutlicht.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

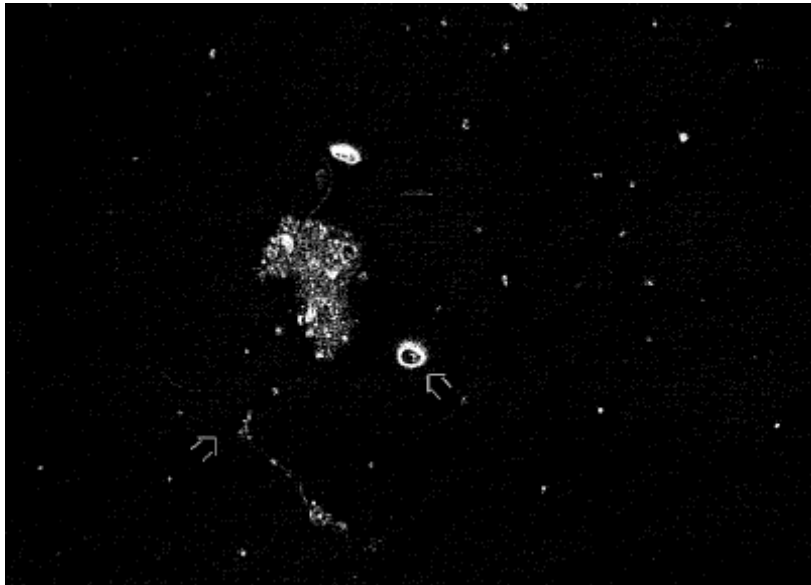


Abbildung 5-13 Dunkelfeldaufnahme Abwasser 400fache Vergrößerung
/Schönecker 2002/⁴⁶

Die Leistung der biologischen Abwasserreinigung gemessen an der Reduktion von CSB, N-Gesamt und PO₄ in 2001 ist in der folgenden Grafik dargestellt.

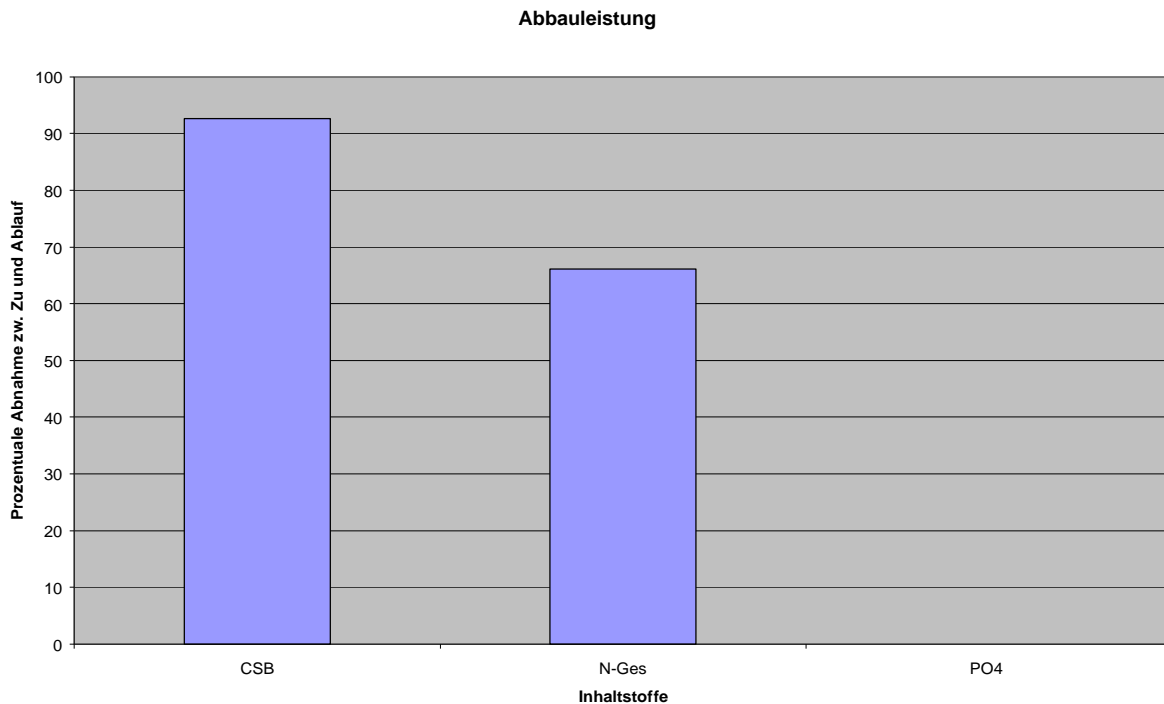


Abbildung 5-14 Abbauleistung der Abwasserreinigungsanlage 2001

Da keine gezielten Maßnahmen zur Phosphatreduzierung ergriffen wurden, erstaunt es nicht, wenn kein messbarer Rückgang von Phosphat festzustellen war. Die Reduzierung des CSB um 93 % und des Gesamtstickstoffs um 66% im Jahresmittel hatte die Erwartungen noch übertroffen..

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Auf diese Ergebnisse aufbauend wurde ein erster Versuch unternommen, um in einem einstufigen Membranverfahren aus dem Abwasser Brauchwasser zu gewinnen. Der Versuchsverlauf und die Ergebnisse sind in Kapitel 6.1.2 beschrieben.

Neben den dort geschilderten Problemen zeigten sich im Verlauf des Jahres 2002 noch weitere kritische Punkte im Betrieb der Abwasseranlage. Es kam mehrfach nach Belastungsspitzen zu unkontrolliertem Anstieg des CSB in den Tagesproben. Dieser ging einher mit erhöhter Trübung in der Klarphase der Sedimentation. Zur Voruntersuchung wurden Proben filtriert und der CSB der Proben mit dem der unfiltrierten verglichen. Die filtrierten Proben zeigten erheblich niedrigere CSB-Werte als die unfiltrierten.

Die mikroskopische Untersuchung der gleichen Proben zeigte, dass die Trübung durch sehr kleine Mikroorganismen verursacht war, die mit der vorhandenen Technik ebenso wenig wie bei der Standardanalytik der absetzbaren Stoffe sedimentierbar waren.

Sie lagen meist als Einzelorganismen vor und ließen sich auch mit erhöhten Gaben an Flockungshilfsmittel nicht sedimentieren.

Die folgende Abbildung zeigt als Beispiel eine Mikroskopaufnahme im Dunkelfeld.

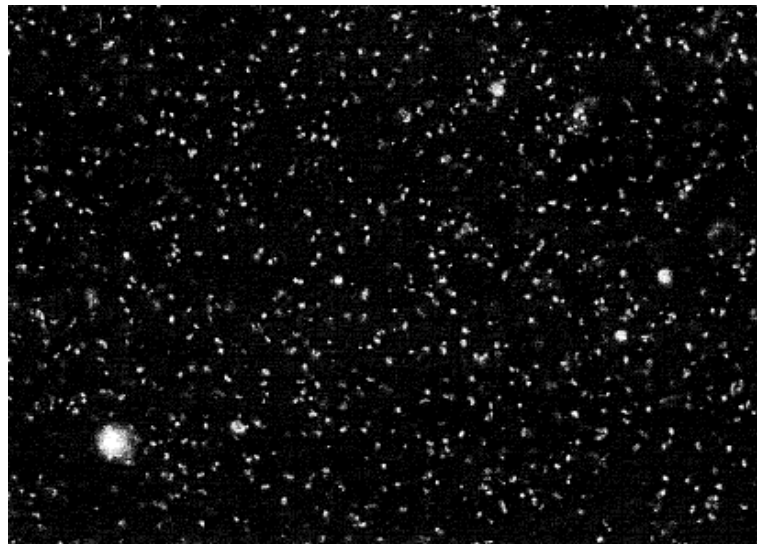


Abbildung 5-15 Vermehrtes Auftreten kleiner Mikroorganismen nach Belastungsspitze 400fache Vergrößerung /Schönecker 2002/⁴⁷

Neben den vermehrt auftretenden nicht sedimentierbaren Abwasserkeimen stellten auch Hefestöße in Folge mangelhafter Trennprozesse ein weiteres Problem dar.

Es ist prozessbedingt normal, Hefezellen im Abwasser einer Brauerei zu finden. Bei vermehrtem Eintrag traten sie aber auch vermehrt in der Klarphase der Sedimentation auf und trugen zu erhöhten CSB-Werten im Abwasser bei, weil sie nicht in die Flocken integriert werden konnten.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

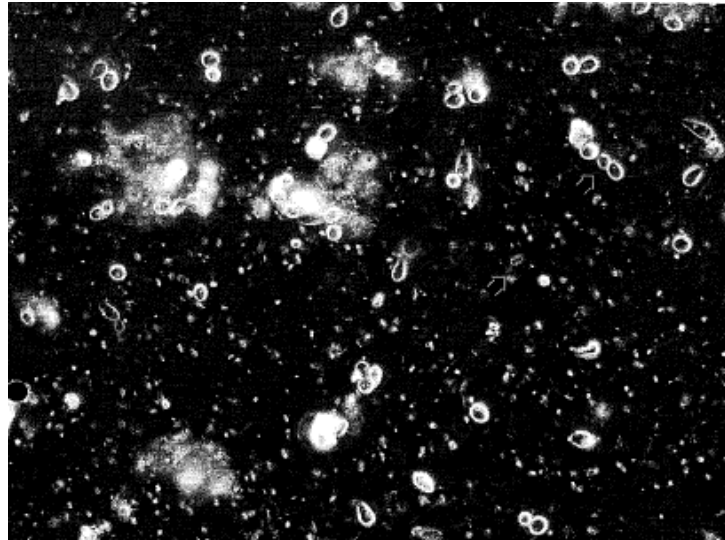


Abbildung 5-16 Hefen im Abwasser, 400fache Vergrößerung im Dunkelfeld
/Schönecker 2002/⁴⁸

Durch ihr fakultativ anaerobes Stoffwechselverhalten verursachten die Hefen außerdem eine so stark erhöhte Sauerstoffzehrung, dass die über die Tauchbelüfter eingetragene Sauerstoffmenge nicht ausreichte, um den gewünschten Sauerstoffgehalt in den Behandlungsbecken aufrechtzuerhalten. Der Sauerstoffgehalt blieb infolgedessen zeitweise unter der Detektionsgrenze der Messgeräte. Es zeigte sich außerdem, dass bei verstärkter Belastung durch organisches Material, wie sie infolge saisonaler Schwankungen stets vorkommen kann, die ausreichende Sauerstoffversorgung der Becken nicht immer gewährleistet werden konnte. Phasen mit Sauerstoffmangel bis zu 24 Stunden konnten nicht vermieden werden, obwohl die Belüfter permanent liefen, so dass sich anaerobe Verhältnisse zumindest in Zonen der Becken einstellten, was am steigenden H_2S -Gehalt im Ablauf erkennbar war.

Die Abbildung 5-17 stellt eine beispielhafte Situation mit erhöhter organischer Belastung dar. Die aufgeführten Zahlenwerte entsprechen den Messwerten zum mit dem Cursor-Pfeil markierten Zeitpunkt. Die Skalierung der Größenachse gibt den prozentualen Anteil des Messwerts vom Messbereichsendwert der jeweiligen Messung an. Die Peaks der Kurven sind durch die Messstreckenspülung verursacht und stellen keine tatsächliche Veränderung der Messgröße dar.

Man kann erkennen, dass zunächst der Sauerstoffgehalt im zuerst beaufschlagten Becken 2 und später im Becken 1 fiel, nachdem der Füllstand des Becken 2 das Niveau erreicht hatte, bei dem das Umpumpen zum Becken 1 einsetzte.

Die Tauchbelüfter im Becken 2 liefen im betrachteten Zeitraum ohne Unterbrechung.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

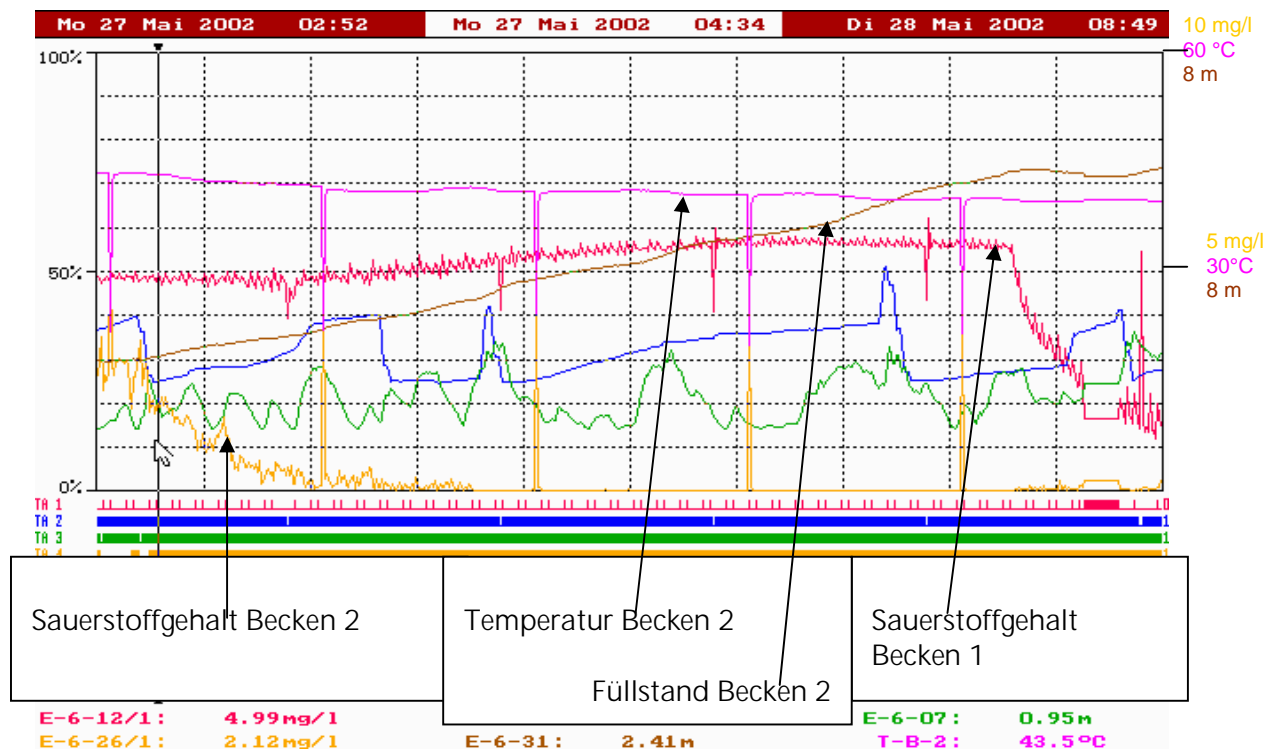


Abbildung 5-17 Betriebsdaten Mai 2002 Sauerstoffmangel in Folge hoher Belastung

Es zeigten sich im Laufe der Beobachtungen mehrere Zusammenhänge:

1. Aufgrund des sehr starken Stoffwechsels nach hohen Belastungen stieg die Beckentemperatur auf bis zu 43,5 °C
2. Bei Temperaturen >37°C stieg der CSB im Ablauf durch die oben beschriebenen Mikroorganismen
3. An Tagen mit Sauerstoffmangel sanken die Gesamtstickstoffgehalte im Ablauf auf unter 15 mg/l.
4. An Tagen ohne „Nährstoffzufuhr“ stiegen die Gesamtstickstoffgehalte auf >50 mg/l

5.3 Stabilisierte Aerobe Abwasserbehandlung mit Denitrifikation

Aus den unter 5.2 dargestellten Beobachtungen ließen sich die folgenden Maßnahmen ableiten:

1. Vermeidung von übermäßiger Hefebelastung durch Verbesserung der Sensorik für die Trennung von Hefe, Bier und Wasser im Rohrleitungssystem.
2. Vermeidung von Stoßbelastungen durch „normale“ Prozesse durch Verbesserung der Verfahrenstechnik, z. B. durch Neugestaltung von

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Whirlpoolböden zum vollständigen Abscheiden des bei der Würzekochung angefallenen Heißtrubes. /Nitzsche 2003/⁴⁹

3. Verbesserung der Sauerstoffversorgung der Abwasseranlage durch Austausch der Tauchbelüfter im Becken 2, wodurch der Sauerstoffeintrag je Belüfter auf 120kg O₂/h /Fölsche, H., 2004/⁵⁰ erhöht werden konnte.
4. Einführung einer Temperaturbegrenzung auf 37°C durch gezielte Lufteinleitung auf die Beckenoberfläche zur Verdunstungskühlung. /de Vries, 2004/⁵¹
5. Einführung einer Taktung zwischen Belüftung und Belüftungspause im Becken 2 in Anlehnung an die SBR-Technologie /Hosang/Bischof 1998/⁵²
6. Einführung einer Nährstoffversorgung in der belastungsfreien Zeit an Wochenenden und Feiertagen mittels Bierabfällen, die ohnehin zur Vernichtung gesammelt wurden.

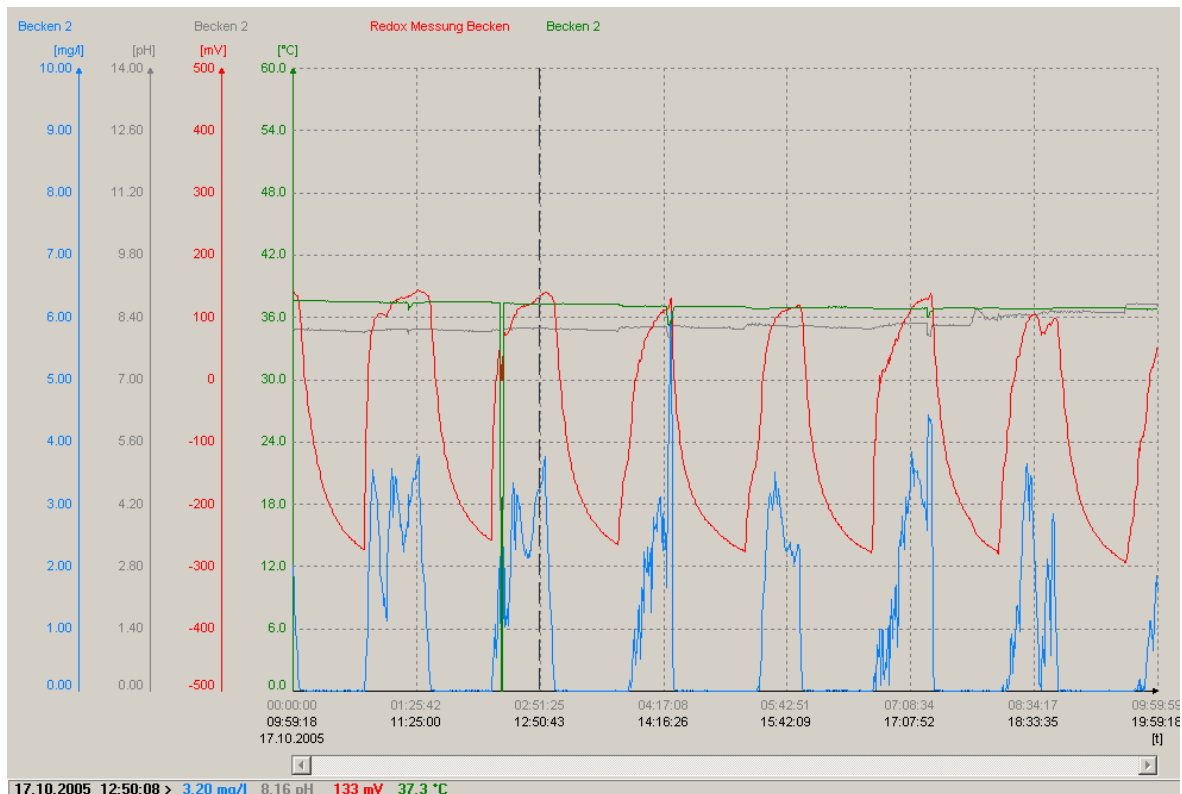


Abbildung 5-18 Betriebsdaten der ARA nach Umsetzung der Stabilisierungsmaßnahmen. Die blaue Linie stellt den Sauerstoffgehalt dar.

Die Abbildung 5-18 zeigt, wie durch die oben aufgeführten Maßnahmen ein planmäßiger Wechsel zwischen aerober Phase und anaerober Phase gewährleistet werden konnte. Außerdem konnte die Beckentemperatur auf etwa 37°C begrenzt werden.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

5.3.1 Eliminierung von polymeren Polyelektrolyten in der Schlammabtrennung, Einführung einer Schlammrückführung und einer Zentralklärung

Aufgrund der im Rahmen der im Kapitel 6 beschriebenen Pilotierungen mit Membrananlagen gemachten Erfahrungen ergab sich die Anforderung, möglichst auf hochmolekulare Flockungshilfsmittel zu verzichten. Diese Anforderung konnte erfüllt werden mit Unterstützung der Firma VTA /de Vries 2005/⁵³, deren kurzkettige, direkt wasserlösliche Flockungshilfsmittel zwar eine gute Sedimentation gewährleisten, einer Membranverlegung jedoch entgegen wirken. Zusammen mit diesen Überlegungen im Hinblick auf die Membranbelastung von technischen Anlagen ebenso wie auf Zellmembranen wurde eine Rückführung des Belebtschlammes in die Anlage implementiert, wodurch die Biomasse im Becken von <1g/l TS auf 3g/l TS angehoben werden konnte.

Die folgende Abb. 5-19 zeigt das Verfahrensfliessbild der Anlage wie sie heute betrieben wird.

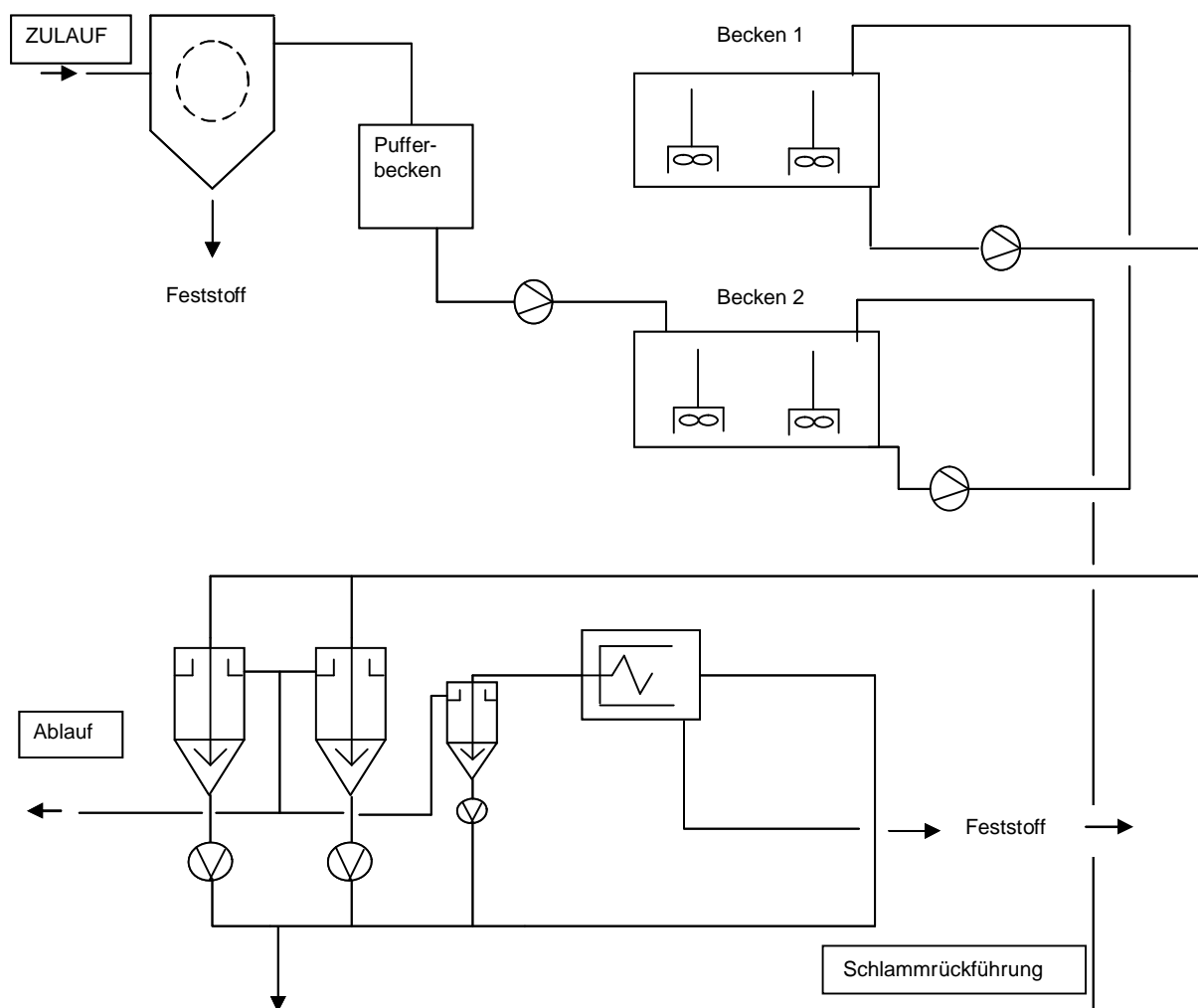


Abbildung 5-19 Abwasserreinigung mit Schlammrückführung und Zentralklärung

Außerdem wurde ein 6,5 m³-Tank zur Sedimentation der Schwebstoffe im Zentralklärbassin und Rückführung des Sediments zum Dekantereinlauf realisiert.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

5.3.2 Betriebsdaten des Entwicklungsstandes der ARA Ende 2005

Kenngroßen		2005	2005
		Zulauf	Ablauf
CSB	mg/l	2756	148
N-Ges	mg/l	79	21
Abs. Stoffe	ml/l	1	1
PO4	mg/l	14	5
mittlere Belastungs-Zahl			1772
mittlere Tagesmenge	m3/d	631	631
Jahresmenge	m3	230242	230242

Tabelle 5-6 Betriebsdaten ARA 2005 - Mittelwerte

In Tabelle 5-6 sind die Betriebsdaten der Abwasserreinigungsanlage von 2005 aufgeführt. Die Abwassermenge ist im Vergleich zu 2001 nur noch geringfügig gesunken, da die Möglichkeiten interner Kreislaufführungen und verfahrenstechnischer Optimierungen bereits 2001 weitgehend ausgeschöpft waren. Die weitere Verringerung der Abwasserkenngroßen resultiert beim CSB im Wesentlichen aus der Reduzierung der Zulaufbelastung, beim Stickstoff aus der Einführung der getakteten Belüftung und beim PO₄ aus der erhöhten Biomasse in den Behandlungsbecken. Die absetzbaren Stoffe konnten durch die Nachklärung des Zentratablaufs des Dekanters noch einmal erheblich verbessert werden.

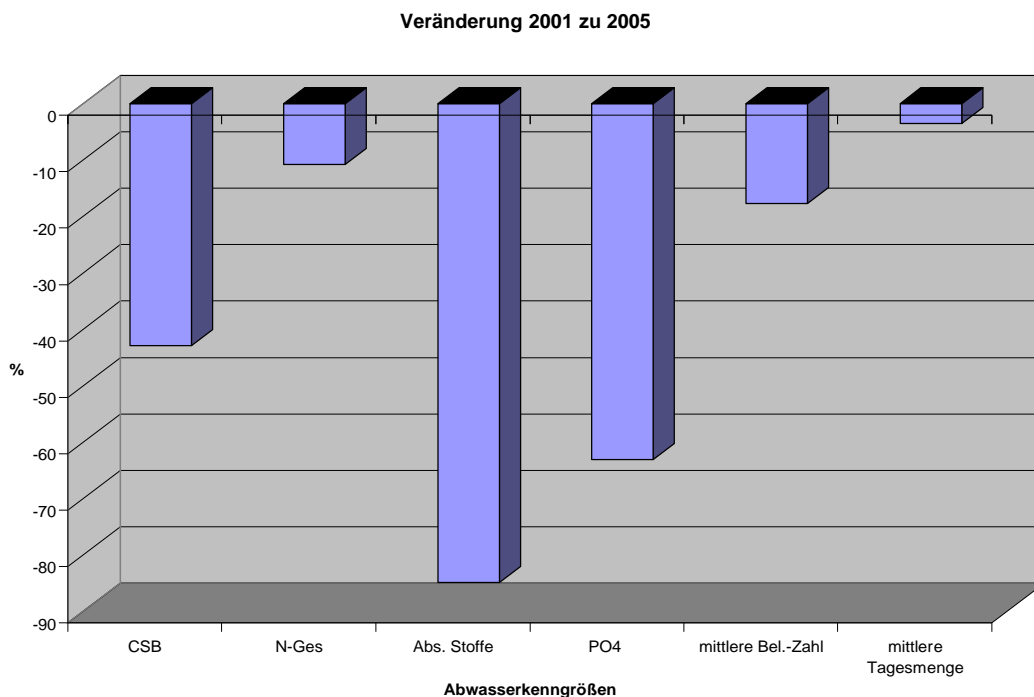


Abbildung 5-20 Veränderung der Abwasserkenngroßen 2001-2005

Betrachtet man nun die Abbauleistung im Jahr 2005 der Abwasserbehandlung, berechnet aus den Jahresmittelwerten, so kann man erkennen, dass der CSB-Abbau im Vergleich zu 2001 noch um 2% verbessert werden konnte und heute bei 95 % liegt. Der Stickstoffabbau konnte um 8% verbessert werden und ein Niveau von 74%

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

erreichen. Eine Reduzierung des Phosphats fand 2001 noch nicht statt, während 2005 eine Verringerung um 68% erreicht werden konnte.

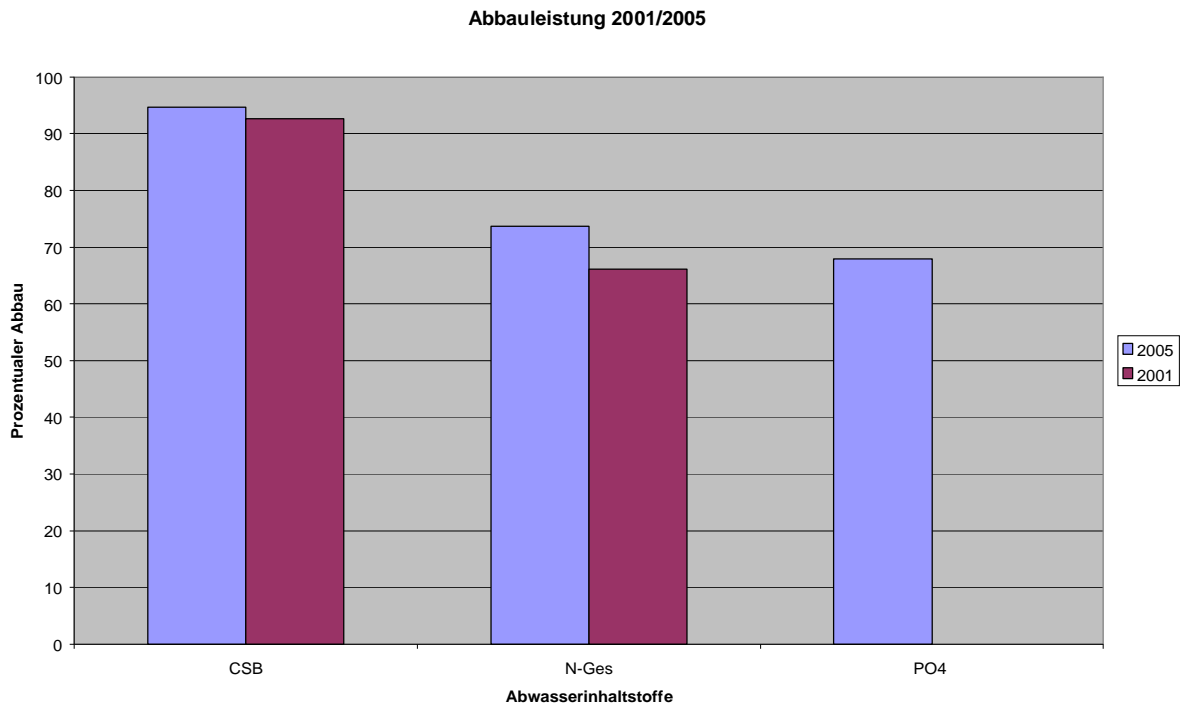


Abbildung 5-21 Abbauleistung ARA 2005 im Vergleich zu 2001

Bei der dargestellten Abbauleistung fielen im Mittel 4,3 t/d zu entsorgender Schlamm mit einer Trockensubstanz von rund 15 % an. Das entspricht 0,37 kg-TS/kg-CSB bei im Mittel 2756 mg/l CSB im Zulauf und einer Tagesabwassermenge von 631 m³/d.

Die Schlammbelastung in den Becken lag dabei zwischen 0,17-0,31 kg CSB/(kg-TS d). Die große Bandbreite resultiert zum einen daraus, dass die Behandlungsbecken gleichzeitig als Mengenpuffer dienen und zum anderen dass die Trockensubstanz in den Becken zwischen 2 g/l und 3 g/l schwankte. Die mittlere Raumbelastung auf die gefüllte Anlage ($2 * 6m * 283m^2 = 3396 m^3$) berechnet, betrug dabei 0,51 kg CSB/(m³d).

Seit 1996 konnten bei annähernd gleich bleibender Produktion sowohl der Wasserbedarf als auch die Abwasserabgabemenge erheblich reduziert werden.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

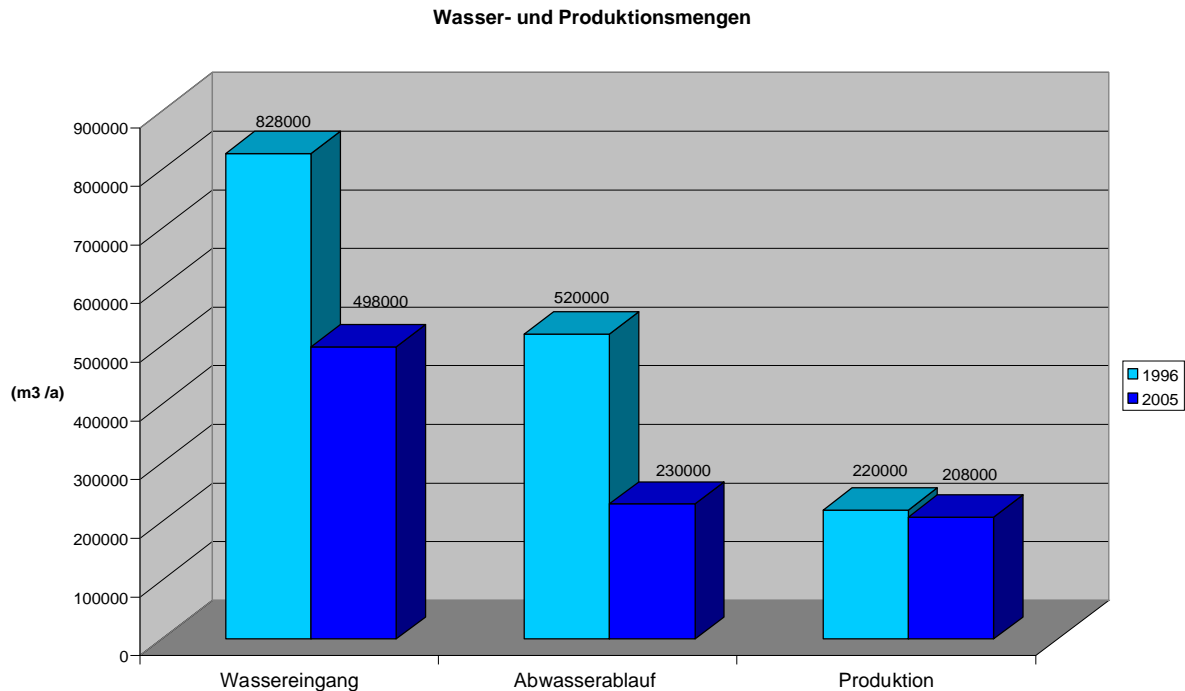


Abbildung 5-22 Wasser- und Produktionsmengen 1996 / 2005

Die oben dargelegte Situation stellt den Ausgangspunkt für die Fortführung der Pilotierungen mit Membrananlagen dar, die im Kapitel 6.2 beschrieben werden.

5.4. Zusammenhang zwischen mikrobiologischen Beobachtungen und Ablaufwerten

Die Ergebnisse der Optimierung der Abwasserbehandlung, die oben beschrieben sind, wurden erzielt, indem die verfahrenstechnischen Maßnahmen durch mikrobiologische Betrachtungsweisen durch das mikrobiologische Labor der Firma VTA vorbereitet, begleitet und überprüft wurden. /Ettl, M. 2004/⁵⁴

So wurde das bereits im eigenen mikrobiologischen Labor erkannte Phänomen der verstärkt auftretenden Einzelbakterien den Ursachen Übertemperatur, Nährstoffüberangebot und Sauerstoffmangel zugeordnet.

Die Bedeutung einer ausgeglichenen, d.h. artenreichen Biozönose wurde erkannt /Ettl, M. 2003/⁵⁵, und es wurden gezielte Maßnahmen zu deren Förderung (Verbesserung der Sauerstoffversorgung, Temperaturbegrenzung) eingeleitet. Gleichzeitig wurde die Flockenbildung und deren Absetzverhalten in Abhängigkeit von den vorkommenden Mikroorganismen beobachtet und durch die Auswahl geeigneter Koagulantien unterstützt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

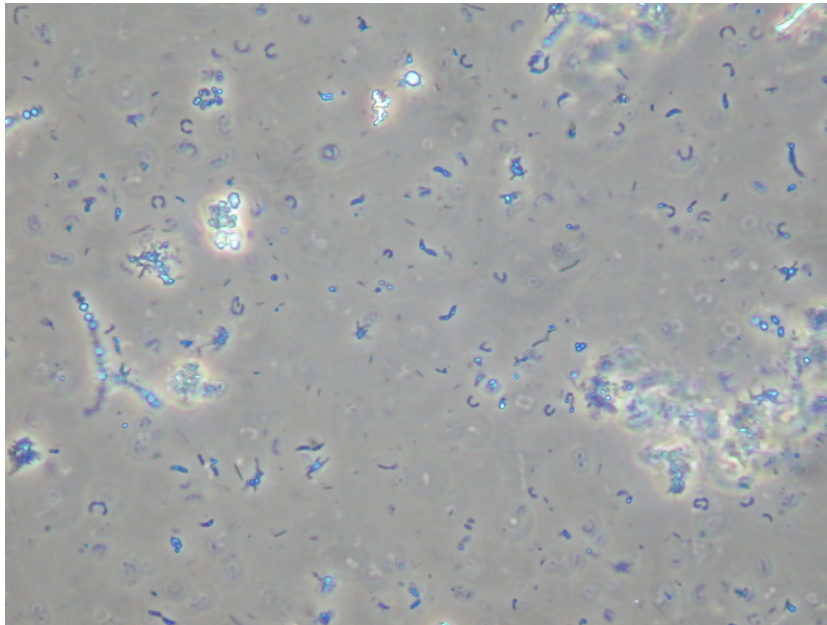


Abbildung 5-23 Freie Bakterien, einzelne kurze Bakterienfilamente und Flockenbestandteile aus der Klarphase der Sedimentation 400fache Vergrößerung, Phasenkontrastmikroskop /Ettl 2003/⁵⁶

Die Abbildung 5-23 vom 17.06.2003 zeigt eine geringe Artenvielfalt und sehr viele freie Bakterien, Protozoen und andere höhere Mikroorganismen fehlen ganz. Flocken sind nur in Resten zu erkennen. Der Befund hatte sich nach einem Belastungsstoß in Folge einer Betriebsstörung eingestellt und ging einher mit erhöhten Stickstoff-, Phosphat- und CSB-Werten im Abwasserablauf.

(mg/l)	Vorher 8.5.03-26.5.03			Nachher 27.5.03-17.6.03		
	Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max
CSB	90	71	131	232	78	657
N-Ges	21,1	10,2	29,8	23,6	13,3	45,2
PO ₄	2,6	1,7	3,2	3,6	1,8	5,7

Tabelle 5-7 Datenvergleich Abwasserkenngößen vor und nach Belastungsstoß

Die Tabelle 5-7 zeigt die Abwasserkenngößen in den jeweils 3 Wochen vor und nach dem betrachteten Ereignis.

In der folgenden Abbildung sind die prozentualen Veränderungen der Mittelwerte grafisch dargestellt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

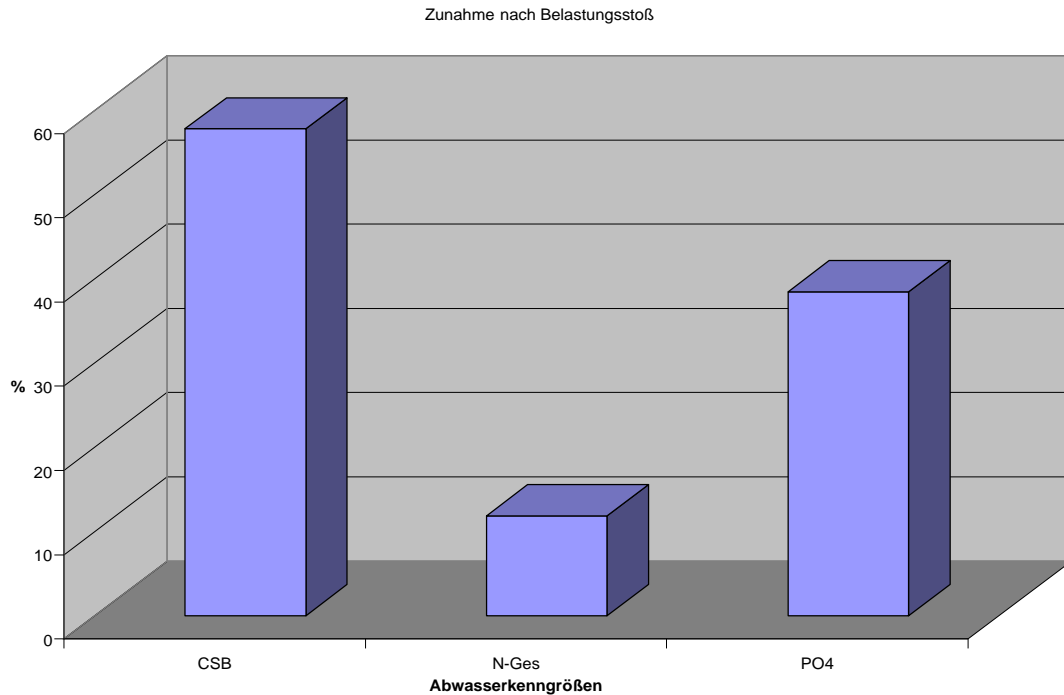


Abbildung 5-24 Abwasserkenngroßen, Veränderung durch Belastungsstoß aus Mittelwerten 3 Wochen vor und 3 Wochen nach dem Ereignis

Der Zusammenhang zwischen Biozönose und Temperaturanstieg wurde zunächst festgestellt am Vorkommen thermophiler Ciliaten im Behandlungsbecken und deren zeitweise dominierender Abundanz.



Abbildung 5-25 Thermophiler Ciliat 400fach /Ettl 2002/⁵⁷

Später konnte bei unerwünschtem Temperaturanstieg ein Zusammenhang zur Verringerung der Artenvielfalt festgestellt werden.

Eine artenreiche und ausgeglichene Biozönose soll beispielhaft an den folgenden Bildern erläutert werden. Eine hohe Artenvielfalt höher organisierter Mikroorganismen geht einher mit einer guten Abbauleistung der Abwasseranlage. Wie stark die Artenvielfalt im Laufe der Entwicklung der Abwasseranlage variiert hat, ist im Anhang im Kapitel 17.3 ersichtlich. Arten wie Vorticella, Euplotes, Opercularia oder Paramecium und Rotaria treten nur auf, wenn die Lebensbedingungen

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Temperatur <37°C und Sauerstoff zwischen 1 und 2 mg/l sowie ausreichende Nährstoffversorgung dauerhaft eingehalten werden.

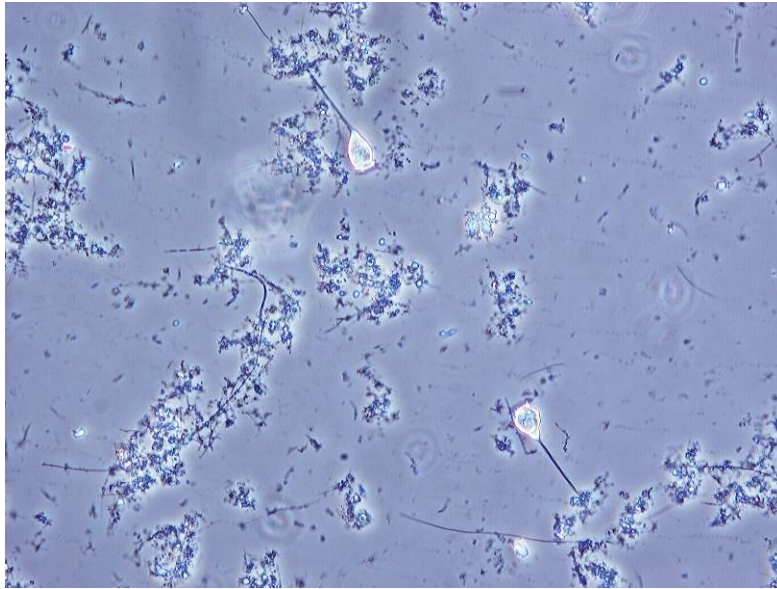


Abbildung 5-26 Vorticella Convallaria 200fach

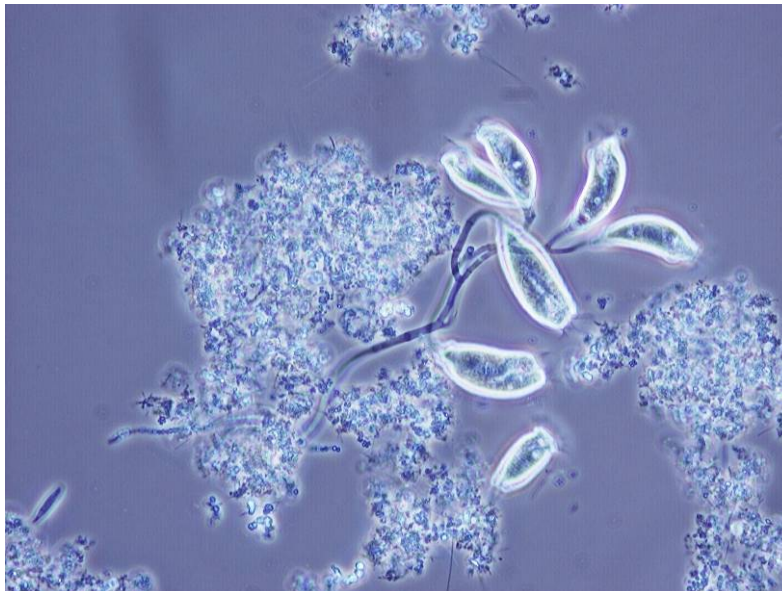


Abbildung 5-27 Opercularia Aquadulcis 400fach

Die Arten Vorticella und Opercularia ernähren sich von kleinen Mikroorganismen, die sie aus dem Wasser „filtrieren“, wodurch sie zu einer guten Klärung beitragen.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

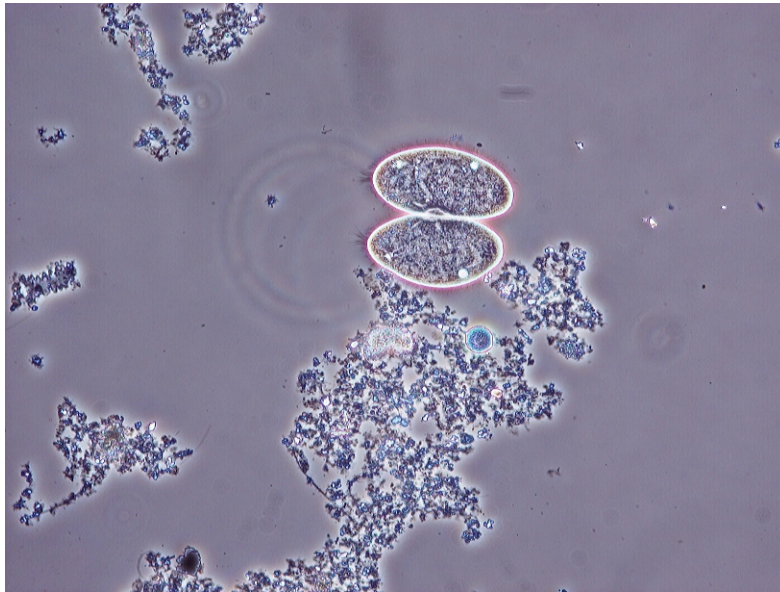


Abbildung 5-28 Paramecien 200fach

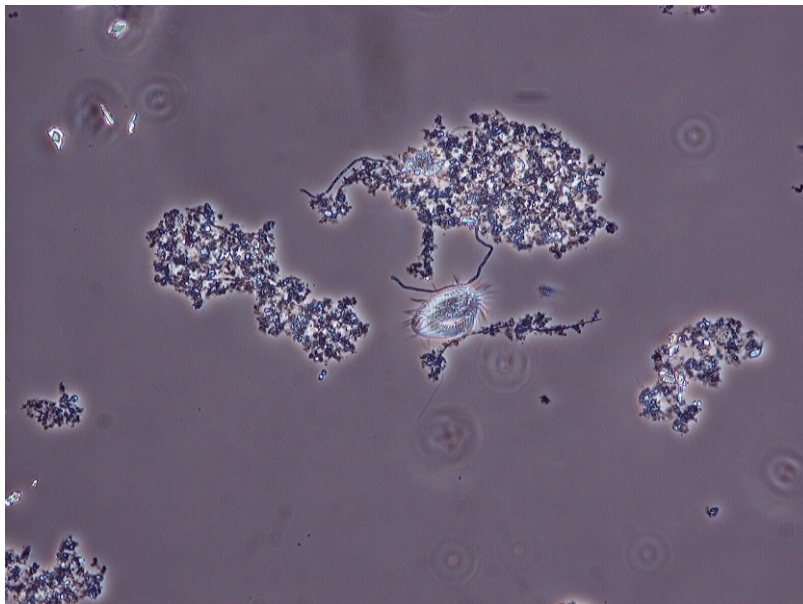


Abbildung 5-29 Euplotes sp. 200fach

Euplotes und Paramecium zählen zu den „Weidegängern“, die sich von Bakterien an den Oberflächen von Flocken ernähren und so zu kompakten und gut sedimentierbaren Flocken beitragen.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

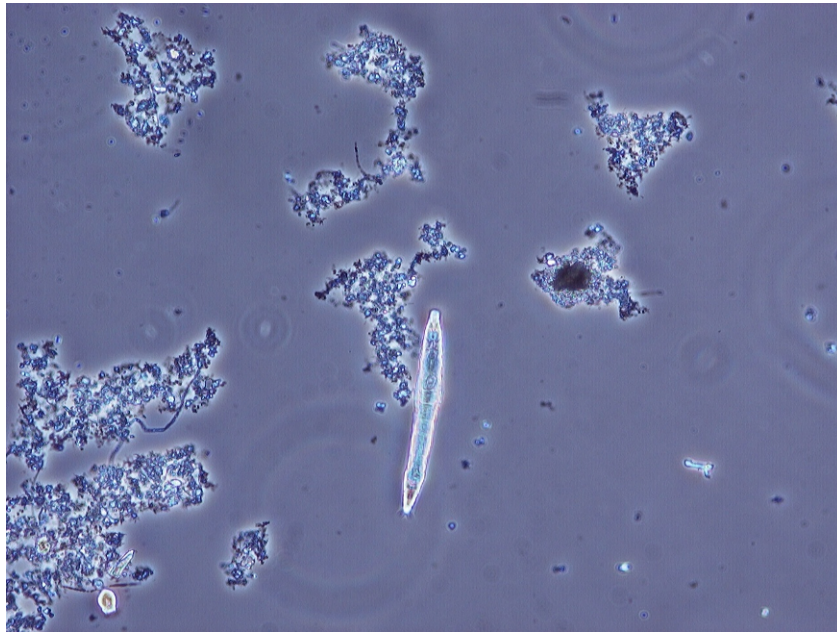


Abbildung 5-30 Rotaria 200fach /Ettl 2003/⁵⁸

Rotaria kommen nur in nicht zu jungen Schlämmen vor und sind Indikatoren für gute Nährstoffversorgung.

Die aufgeführten Mikroskopaufnahmen stammen aus 2003 und wurden vorgefunden, als die Abwasserkenngößen wie in der Tabelle 5-7 für den Zeitraum 8.5.-26.5.2003 dargestellt, im günstigen Bereich lagen.

6. Membrantechnik zur Abwasseraufbereitung

In diesem Kapitel werden die durchgeführten Pilotversuche mit verschiedenen Membranen und unterschiedlichen Anlagen beschrieben und die Ergebnisse dargestellt. Die Ausrichtung der Pilotierungen hat sich mit den gesammelten Erkenntnissen und der sich weiter entwickelnden Abwassertechnologie (vgl. Kapitel 5) ebenfalls weiter entwickelt. War der zeitlich früheste Versuch noch auf eine gleichzeitige Optimierung der Abwasserreinigung und Gewinnung von wieder verwertbarem Wasser ausgerichtet, gingen die späteren Pilotierungen bereits von einer hinreichend funktionierenden biologischen Abwasserbehandlung aus.

Die Darstellung der Pilotierungen erfolgt hier nicht chronologisch, sondern nach Anlagenkonzeption geordnet. Zunächst werden die einstufigen getesteten Membranverfahren im Kapitel 6.2 behandelt, danach die verschiedenen zweistufigen Membranverfahren im Kapitel 6.3.

Zuvor sollen jedoch im Kapitel 6.1 die wesentlichen, betrachteten Größen und Begriffe eingeführt werden.

6.1 Theorie der Membrantechnik

Den Umfang dieser Arbeit würde eine umfassende Darstellung des Standes der Wissenschaft über die Membrantechnik sicher sprengen. In „Membranverfahren“ von T. Melin und R. Rautenbach /Melin 2004/⁵⁹ liegt eine solche umfassende Darstellung der theoretischen Grundlagen der Membrantechnologie und deren Anwendungsgebiete vor, auf die hier verwiesen sei.

An dieser Stelle soll nur auf diejenigen Größen eingegangen werden, die zur Beurteilung der Ergebnisse der Pilotversuche herangezogen wurden, und diejenigen Begriffe erläutert werden, die unmittelbare Bedeutung für die Versuche und ihre Beurteilung hatten.

6.1.1 Fluss

Der Fluss, auch Permeatfluss oder engl. Flux, ist der auf die Fläche bezogene Stoffstrom, hat also die Dimension Masse / (Fläche X Zeit). /Melin 2004/⁶⁰ Der Gesamtfluss setzt sich zusammen aus der Summe aller permeierenden Partialflüsse aller Komponenten. Bei den Versuchen zur Aufbereitung von Brauereiabwasser ist der Wasserstrom stets sehr viel größer als jeder andere Partialstrom. Außerdem ist der Wasserstrom messtechnisch besonders leicht als Volumenstrom zu erfassen. Unter Fluss wird darum in dieser Arbeit der auf die Membranfläche bezogene Permeatvolumenstrom verstanden.

Es gilt die

Definition: Fluss = Permeatvolumenstrom / Membranfläche

$$\dot{Q}_p = \dot{V} / A \quad [l/(m^2h)]$$

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.1.2 Rückhalt

Unter Rückhalt „ R_i “ oder Rückhaltung wird der zurückgehaltene Massenanteil einer Komponente i verstanden. /Melin 2004/⁶¹

$$R_i = \frac{W_{iF} - W_{iP}}{W_{iF}} = 1 - W_{iP} / W_{iF}$$

Im Rahmen dieser Arbeit wurden anstelle der Massenanteile die Konzentrationen oder die Leitfähigkeit des Feed- bzw. Permeatstroms in die Berechnung eingesetzt und der Anteil in % ausgedrückt.

Definitionen:

$$\text{Rückhalt der Komponente } i = \frac{\text{Feedkonzentration (i)} - \text{Permeatkonzentration (i)}}{\text{Feedkonzentration (i)}} * 100\%$$

$$R_i = (1 - C_{iP} / C_{iF}) * 100 \%$$

$$\text{Rückhalt der Leitfähigkeit } R_{Lf} = (1 - Lf_P / Lf_F) * 100 \%$$

6.1.3 Transmembrandruck und Druckdifferenz

Beim Transmembrandruck „TMP“ oder der trans-Membranen-Druckdifferenz handelt es sich um eine ortsabhängige Größe innerhalb des Moduls, die nicht unmittelbar messbar ist. Hier wird darunter die aus verfügbaren Messgrößen ermittelte Druckdifferenz verstanden, die aus dem gemittelten Druck zwischen Feedeintritt und Retentataustritt und dem Permeatdruck berechnet wird. Der Verlauf des TMP über der Betriebszeit wird zur Beurteilung des Scalings und Foulings auf der Membran herangezogen.

Definition:

$$\text{TMP} = \frac{P_{\text{Feed}} + P_{\text{Retentat}}}{2} - P_{\text{Permeat}} \text{ [bar]}$$

Als Druckdifferenz des (der) Moduls(e) wird die Differenz zwischen gemessenem Druck im Zulauf zur Membran, dem Feeddruck und dem Druck am Retentatauslauf der Membran, dem Retentatdruck, bezeichnet:

Definition:

$$\Delta P = P_{\text{Feed}} - P_{\text{Retentat}}$$

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.1.4 Permeabilität

Unter Permeabilität soll hier nicht die intrinsische Permeabilität /Melin 2004/⁶² verstanden werden, die spezifische Eigenschaft von Membranmaterialien ist, sondern der auf den Transmembrandruck bezogene Fluss. /Joss 2003/⁶³ Die so verstandene Permeabilität ist ein Maß für den Durchflusswiderstand des Permeats, welcher bei normalem Betrieb durch Membran und sich aufbauende Schicht verursacht wird.

Es gilt die folgende Definition:

$$\text{Permeabilität} = \frac{\text{Fluss}}{\text{TMP}} \quad [l/(m^2 \cdot h \cdot \text{bar})]$$

$$\xi = \dot{Q}_p / \text{TMP}$$

Die Beobachtung des zeitlichen Verlaufs der Permeabilität während eines Anlagenlaufs ermöglicht die Beurteilung der Effektivität und liefert ein Kriterium zur Entscheidung über die Notwendigkeit einer chemischen Reinigung.

Der Einfluss der Temperatur auf die Permeabilität wurde im Rahmen dieser Arbeit außer Acht gelassen, da alle Versuche bei annähernd gleichen Temperaturbedingungen durchgeführt wurden.

6.1.5 Ausbeute

Unter Ausbeute bei Membranverfahren wird der Permeatmassenstrom bezogen auf den Feedmassenstrom verstanden. /Melin 2004/⁶⁴

Hier wird in guter Näherung davon ausgegangen, dass der Dichteunterschied zwischen Feedstrom und Permeatstrom nicht maßgeblich ist, so dass die Ausbeute aus den Volumenströmen berechnet werden kann:

Definition:

$$\text{Ausbeute} = \text{Permeatvolumenstrom} / \text{Feedvolumenstrom} * 100\%$$

$$\Phi = \dot{V}_p / \dot{V}_f$$

6.1.6 Stofftransport

Ohne das komplexe Thema des Stofftransportes in Membranen erschöpfend darzustellen, sollen hier die für die Versuche bedeutsamsten Beziehungen aufgezeigt werden.

In den verschiedenen Pilotierungen wurden zwei grundsätzlich verschiedene Membrantypen eingesetzt: Während es sich bei den Ultrafiltrationsmembranen unabhängig vom jeweils verwendeten Werkstoff um Porenmembranen handelte, kamen in den Umkehrosmoseanlagen Membranen zum Einsatz, deren

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Eigenschaften sich mit dem Lösungsdiffusionsmodell /Melin 2004/⁶⁵ beschreiben lassen.

Der Permeatstrom der Porenmembran ist neben dem treibenden Druckgefälle und sofern keine Deckschicht vorhanden ist, von der Porosität ϵ , der spezifischen Oberfläche S_V , der Porengeometrie, beschrieben durch den Umwegfaktor τ , der dynamischen Viskosität η und der Membrandicke δ abhängig.

Ausgehend vom Gesetz von Hagen-Poiseuille kann man zeigen /Melin 2004/⁶⁶, dass für den Permeatvolumenstrom V_P durch Porenmembranen gilt:

$$\dot{V}_P = A \cdot \Delta p$$

Dabei ist A eine (temperaturabhängige) Konstante einer Membran für ein Medium und kann experimentell ermittelt und nach Carman-Kozeny berechnet werden.

Meist – und so zeigte es sich auch in den durchgeführten Versuchen, ist die Ultrafiltration jedoch durch die Deckschicht kontrolliert. Im Betrieb bilden dabei die von der Membran zurückgehaltenen Komponenten einen Belag auf der Membran, der sowohl Fluss als auch Trenncharakteristik in weit höherem Maße bestimmt als die Membran selbst. /Melin 2004/⁶⁷

Für die Umkehrosmose wässriger verdünnter Salzlösungen lässt sich der Permeatvolumenstrom V_W auf Basis des einfachen Lösungsdiffusions-Modells mit der folgenden Beziehung ausdrücken:

$$\dot{V}_W = m / \rho_W = A^* / \rho_W \cdot (\Delta p - \Delta \pi)$$

Darin bezeichnet A^* eine Membrankonstante für die Umkehrosmose und $\Delta \pi$ die Differenz des osmotischen Drucks zwischen Feed und Permeat. /Melin 2004/⁶⁸

In den Versuchen zeigte sich jedoch auch für die Umkehrosmose ein nicht zu vernachlässigender Einfluss von Schichtbildung auf der Membran.

6.1.7 Scaling und Fouling

Als Fouling wird die Bildung von Deckschichten durch eingeschleppte suspendierte oder kolloidal gelöste Stoffe oder biologisches Wachstum auf der Membran verstanden. Dass dieses Phänomen bei den einstufigen Verfahren und in der ersten Stufe der zweistufigen Verfahren auftrat, kann nicht verwundern, denn der Zulauf zu den Membrananlagen enthielt stets Zellen und andere Trübung verursachende Stoffe.

Fouling hat daher in allen Versuchen eine Rolle gespielt und die Begrenzung der Auswirkung auf den Fluss durch Rückspülung oder Reinigung wurde zur wesentlichsten zu lösenden Teilaufgabe.

An den Umkehrosmosemembranen trat außerdem auch Scaling auf, d. h. Schichtbildung auf der Membran durch ausfallende Salze durch Überschreitung des Löslichkeitsproduktes. /Melin 2004/⁶⁹

Auch Beherrschung des Scalings durch gezielte Dosierung von Antiscalants und zyklische Reinigungen entwickelte sich zur Teilaufgabe mit wesentlicher Schlüsselfunktion.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.2 Einstufige Anlagen

Als der in Kapitel 5.2 beschriebene Status der Abwasserbehandlung (zweistufige Aerobie mit Sedimentation und Schlammeindickung) erreicht war, wurde in den Jahren 2001 und 2002 untersucht, ob mittels einstufiger Umkehrosmoseanlage technisch und wirtschaftlich eine Rückgewinnung von Wasser aus dem ablaufenden Abwasser möglich war.

6.2.1 Umkehrosmose mit Spiralwickelmodul Imecon 2001

Die erste Untersuchung wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Imecon, Abtwil, Schweiz durchgeführt. Die Pilotierung diente dazu, Erkenntnisse über den bevorzugt einzusetzenden Membrantyp und die erforderliche Verfahrensweise für einen stabilen Betrieb einer Umkehrosmoseanlage zur Abwasserbehandlung zu gewinnen.

6.2.1.1 Aufbau und Funktion der Pilotanlage

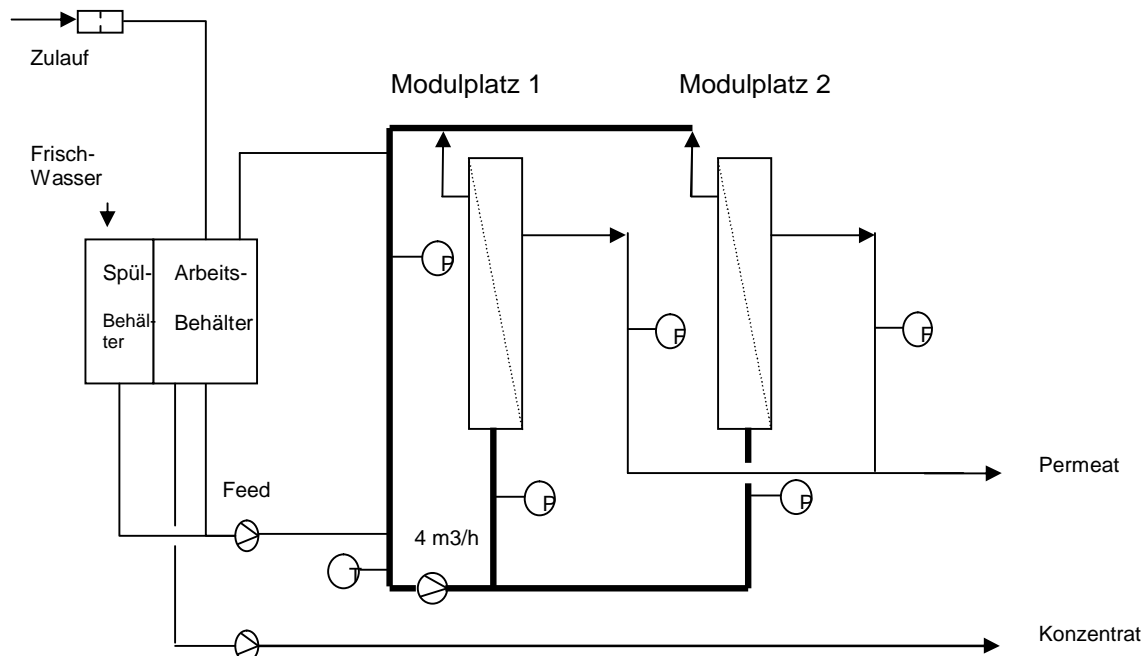


Abbildung 6-1 Verfahrensfliessbild der Imecon Pilotanlage /Kiefer 2001/⁷⁰

In der Abbildung 6-1 ist das Fließbild der Anlage dargestellt. Sie war mit Schwebekörpermessgeräten für die Volumenstrommessung in den Permeatleitungen und in der Konzentratleitung ausgestattet. Außerdem wurde die Temperatur im Kreislauf, der Druck vor und nach den Modulen und die produzierte Permeatmenge an der Anlage gemessen. Die Messwerte wurden abgelesen und protokolliert. (vgl. Anhang 16.6.1)

Als Vorfilter war ein Bandvliesfilter eingesetzt, das zur Abtrennung von Partikeln und Flocken > 100µm diente.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Anlage war mit jeweils zwei Modulen bestückt. Sie wurde nach dem Feed and Bleed Prinzip /Melin 2004/⁷¹ mit einem Kreislaufvolumenstrom von 4 m³/h betrieben. Die Steuerung des Zulaufs in den Arbeitstank erfolgte über Niveauschalter als 2-Punktregelung. Die Einstellung des Konzentratstromes und des Membrandrucks erfolgte über Strangregulierventile.

Es wurde über alle Versuche hinweg ein Antiscalant dosiert (Produktname Ameroyal 363, Einsatzmenge 10 ppm).

Für den Ansatz von Reinigungslösungen stand ein Spülbehälter zur Verfügung, über den sowohl der Konzentrat- als auch der Permeatkreislauf gefahren werden konnte. Gereinigt wurde jeweils mit alkalischem und saurem Reinigungsmittel. Es wurden konfektionierte Reinigungsmittel verwendet (Membran Clean 182, pH 12,6 und Membran Clean 150)

6.2.1.2 Untersuchte Parameter

Die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Parameter wurden im Rahmen der Pilotierung untersucht:

Untersuchte Parameter	
Membrantyp	Permeabilität für das zu behandelnde Wasser
Trübung	im Zulauf
Sensorik	des Permeats
Sensorik	des Permeats nach Aktivkohlebehandlung
Chlorid	im Zulauf und im Permeat
Nitrat	im Zulauf und im Permeat
Nitrit	im Zulauf und im Permeat
Sulfat	im Zulauf und im Permeat
Phosphat	im Zulauf und im Permeat
CSB	im Zulauf und im Permeat
Koloniezahl	im Permeat

Tabelle 6-1 Untersuchte Parameter Spiralwickelmodul

Es wurden 3 verschiedene Umkehrosomosemembrantypen der Firma Filmtec untersucht:

1. Eine Niederdruckmembran Typ XLE-4040 mit 8,1 m² Membranfläche.
2. Eine Brackwassermembran Typ BW30-4040 mit 7,6 m² Membranfläche
3. Eine Seewasserentsalzungsmembran Typ SG-4040-F mit 8,2 m² Membranfläche

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.2.1.3 Ergebnisse

In der ersten Phase wurden je zwei verschiedene Membranen an den Modulplätzen 1 und 2 eingebaut, um im Parallelbetrieb im direkten Vergleich die am besten geeignete Membran für das zu behandelnde Wasser zu identifizieren.

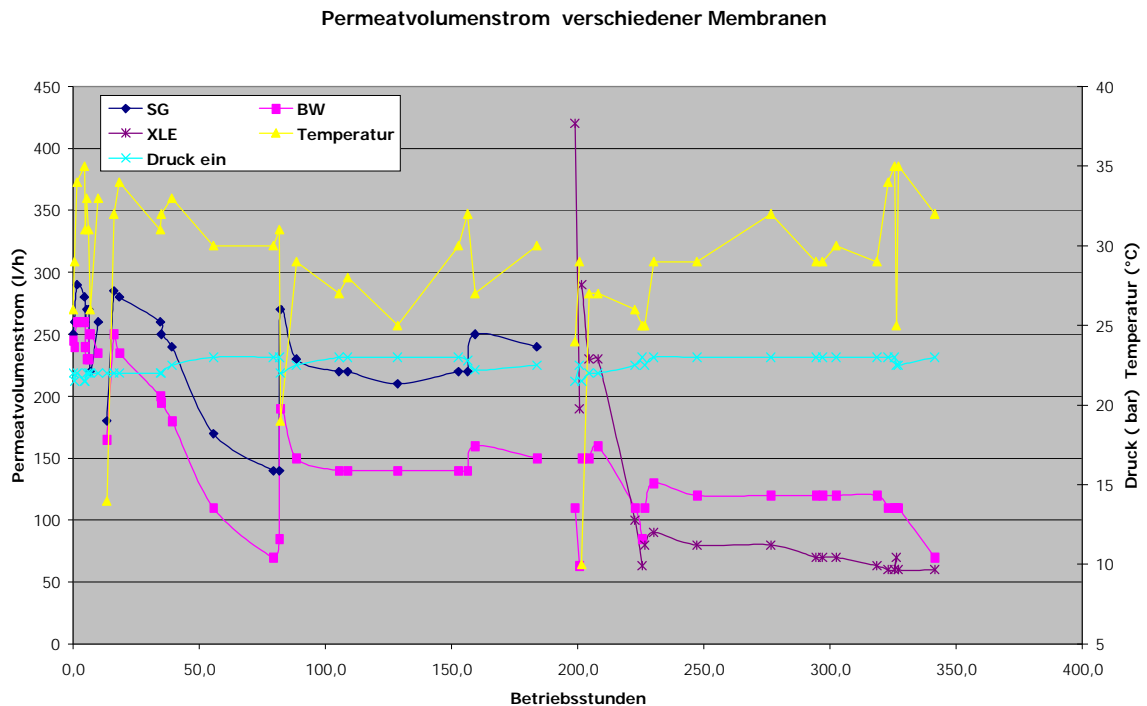


Abbildung 6-2 Permeatvolumenstrom verschiedener Membranen /Kiefer 2001/72

Während der ersten 180 h des betrachteten Zeitraums waren die SG-4040-F-Membran und die BW30-4040 Membran eingebaut, im Zeitraum danach liefen die BW30-4040 und die XLE-Membran parallel. Es zeigte sich, dass die SG-4040-F-Membran den höchsten Permeatvolumenstrom zuließ.

Die in der stationären Phase des Volumenstromverlaufs festgestellten Permeabilitäten sind in der folgenden Grafik dargestellt.

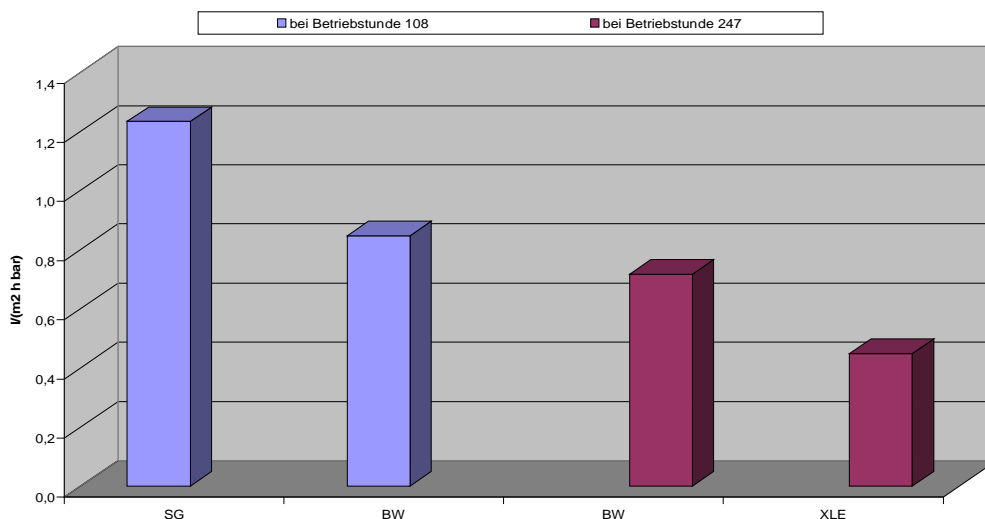


Abbildung 6-3 Permeabilitäten verschiedener Membranen zu Beginn der Versuche

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Aus der Betrachtung der Permeabilitäten ergab sich ein eindeutiger Vorteil für die SG-4040-F Membran. Daher wurden die nachfolgenden Untersuchungen in der Weise durchgeführt, dass parallel zu der in der ersten Phase getesteten SG-Membran eine weitere neue SG-Membran eingebaut wurde.

In dieser Anordnung wurden weitere Produktions- und Reinigungszyklen durchgeführt. Die Volumenstromverläufe der beiden letzten sind in der nachfolgenden Grafik dargestellt. Die ältere der beiden Membranen hat insgesamt 6 Runs absolviert.

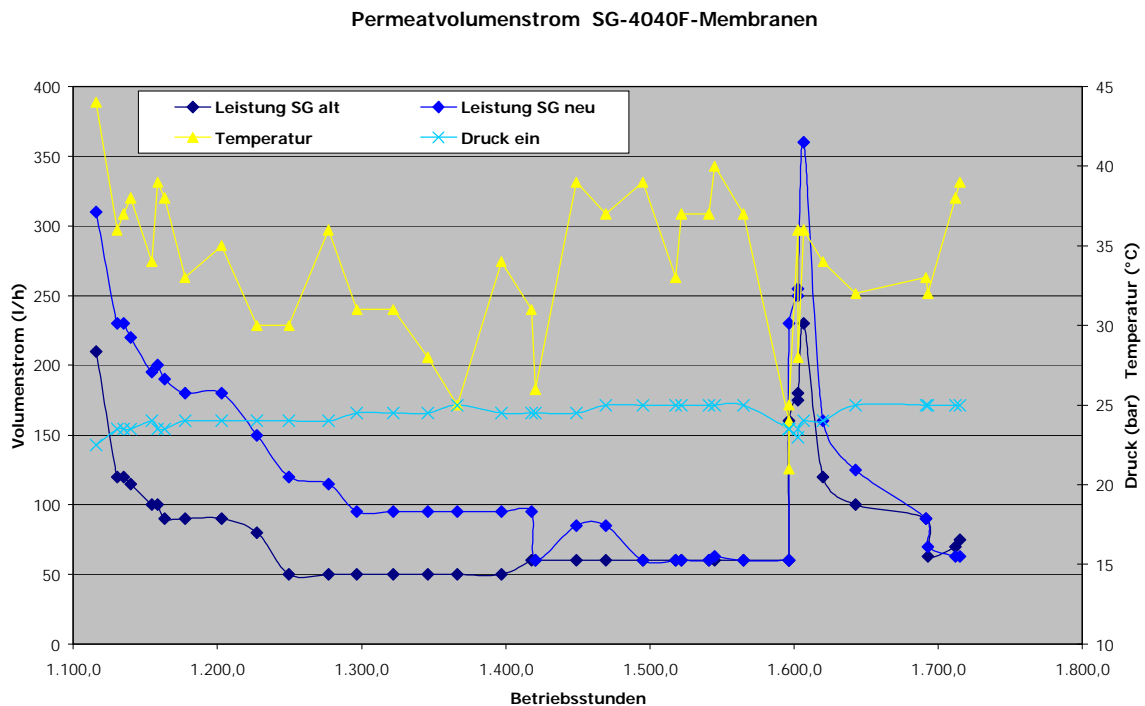


Abbildung 6-4 Permeatvolumenstrom zweier SG Membranen

In der Abbildung ist erkennbar, dass über die mit SG-alt bezeichnete Membran rund 180 Stunden nach einer Reinigung ein bis zum Ende der Datenreihe stabiler Fluss erreicht war, der nur noch von der Temperatur geringfügig beeinflusst wurde. Ebenfalls erkennbar ist eine Art "Zwischenplateau" von etwa 50 - 70 Stunden. Die neuere Membran, SG-neu, hatte zunächst eine höhere Leistung, die sich im Laufe der Zeit jedoch der Leistung der älteren Membran annäherte und am Ende der Versuche zwischen 50 und 60 l/h lag. Der Verlauf der beiden Volumenströme ist offensichtlich ähnlich. Die zugrunde liegenden Daten sind im Anhang Kapitel 17.6.2 detailliert aufgeführt.

Die folgende Abbildung verdeutlicht, wie sich die Permeabilität der SG-4040-F Membran mit zunehmender Einsatzdauer verändert hatte.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

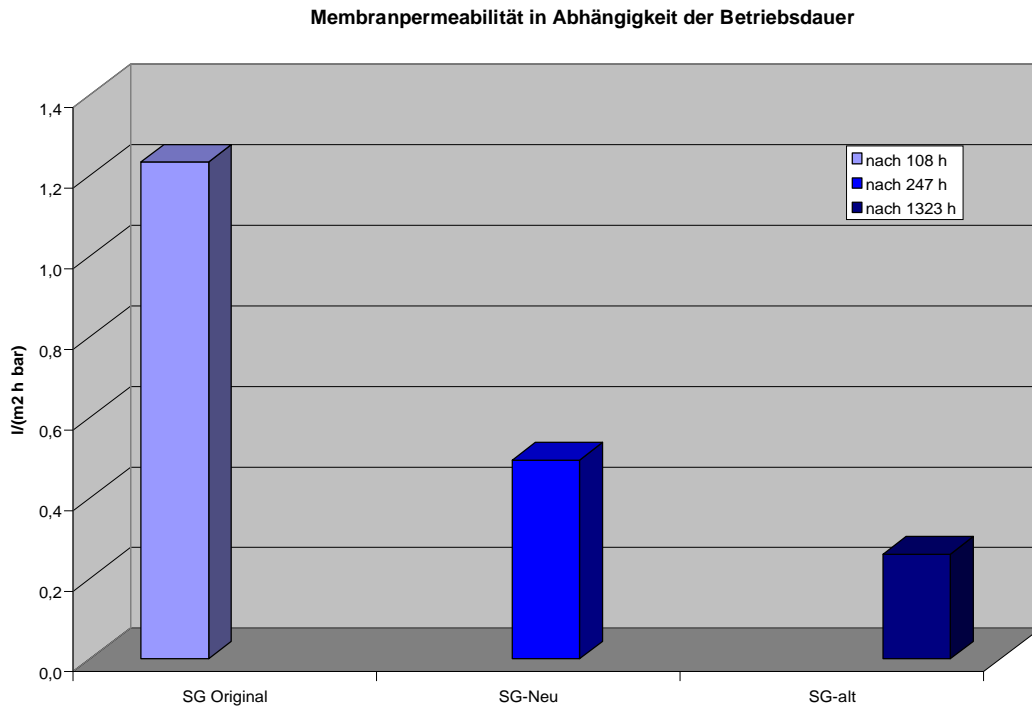


Abbildung 6-5 Permeabilität der SG-4040-F Membran mit steigender Einsatzdauer

Die Permeabilität der Membran war nach 6 Produktions-/Reinigungszyklen auf 1/6 des Ausgangswertes gefallen.

Die hinsichtlich des Rückhaltes der Membran untersuchten Parameter stellten sich wie folgt dar.

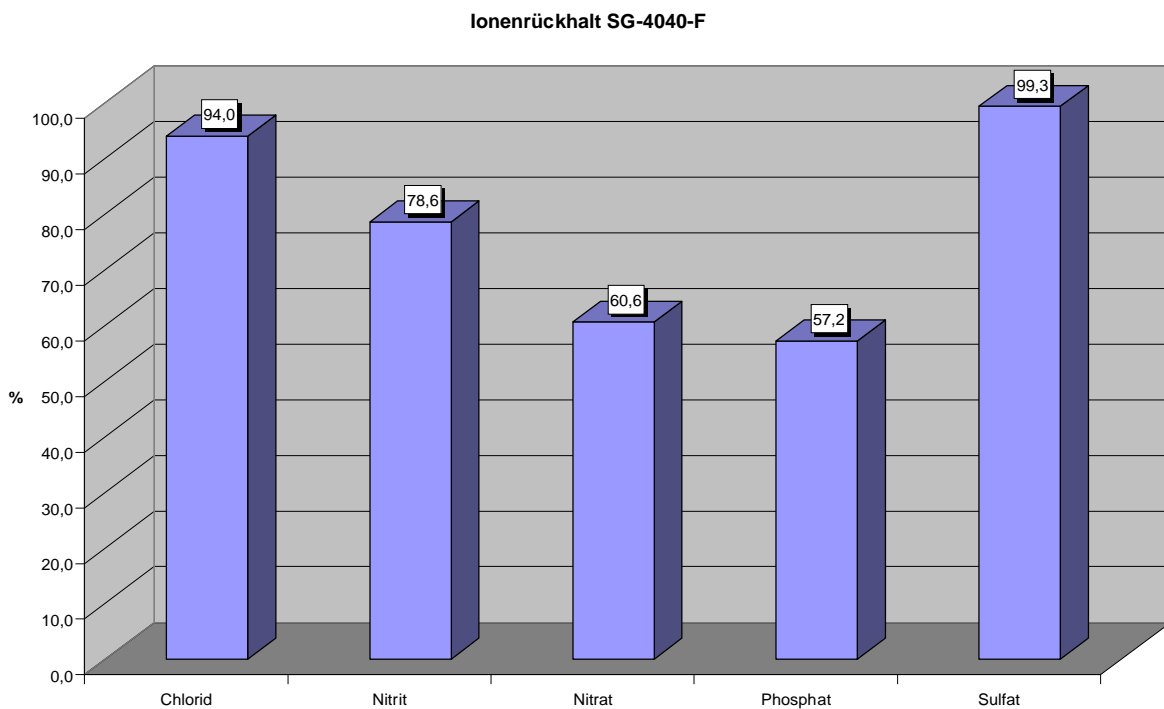


Abbildung 6-6 Ionenrückhalt der SG-4040-F Membran

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Der Rückhalt der einzelnen Ionen wurde aus den Mittelwerten der gemessenen Einzelergebnisse errechnet. Der durchschnittliche Rückhalt über alle betrachteten Ionen betrug 78%.

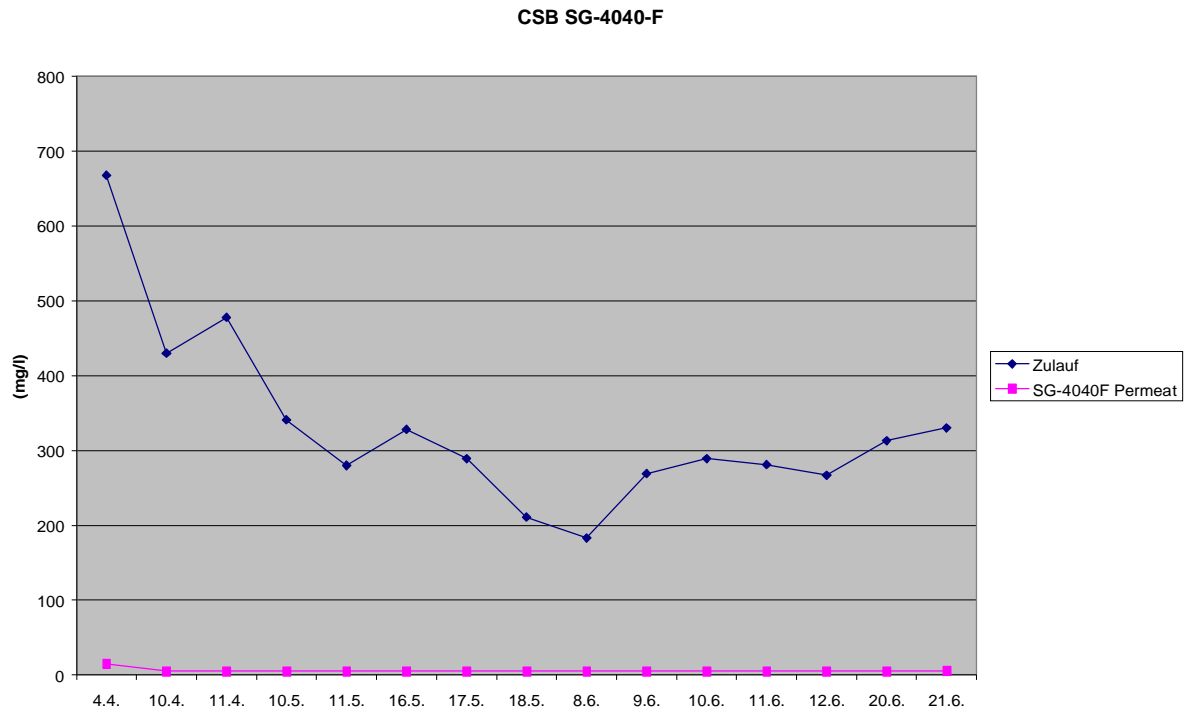


Abbildung 6-7 CSB Zulauf und Permeat

Die Abbildung ... zeigt die gemessenen CSB-Werte im Zulauf und im Permeat, wobei im Permeat die Detektionsgrenze für die Bestimmung des Rückhaltes herangezogen wurde, der sich damit zu 98% ergab.

Die mikrobiologischen Untersuchungen auf DEV Agar des Permeats ergaben an allen mit Ausnahme zweier Versuchstage mehr als 100 Kolonie bildende Einheiten pro ml.

Für die sensorische Bewertung wurden Permeatproben zusätzlich über Aktivkohle filtriert. Es kann festgestellt werden, dass auch dann, wenn Geruch und Geschmack des Permeats vor der Aktivkohlebehandlung starke, schwefelartige Fehler aufwiesen, diese mittels Aktivkohlebehandlung beseitigt werden konnten. Die Einzelbewertungen sind im Anhang im Kapitel 17.6.5 dargestellt.

Der Druckabfall im Modul stieg von 2 bar zu Beginn der Versuchsreihe auf 3 bar am Ende der Versuchsreihe an.

6.2.1.4 Resümee

Die Versuchsserie hat gezeigt, dass eine Aufbereitung des Klarlaufs der Abwasservorbehandlungsanlage durch eine Umkehrosmose grundsätzlich möglich ist. /Kiefer 2001/⁷³ Hinsichtlich CSB und Salzurückhalt kann festgehalten werden, dass auch strenge Anforderungen erfüllbar sind.

Mikrobiologisch und in Bezug auf Nitrit lagen die Ergebnisse außerhalb der vorgegebenen, tolerierbaren Spanne. Beim Nitrit kann davon ausgegangen werden,

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

dass nur eine verbesserte Vorbehandlung des Wassers zu befriedigenden Ergebnissen, d. h. Unterschreitung der Grenzwerte der TWVO, führen kann.

Die Gesamtkeimzahl kann durch verschiedene Maßnahmen verbessert werden, von denen ein kontinuierlicher Betrieb den höchsten Stellenwert einnimmt. Sekundäre Sanitationsmaßnahmen sind aber ebenso denkbar.

Sensorisch ist das Permeat dieser Versuchsserie nicht ohne weitere Behandlung verwendbar gewesen. Auch hier gilt, dass eine signifikante Verbesserung durch eine optimierte Abwasservorbehandlung zu erwarten ist, wobei eine Nachbehandlung mit Aktivkohle jedenfalls zum gewünschten Ziel führen kann.

Die erzielten Permeabilitäten am Ende der Versuchsserie zeigen, dass hinsichtlich der Scaling- und Fouling-Problematik ebenso wie in Bezug auf die Membranreinigung noch keine praktikable Verfahrenstechnik gefunden war.

Über die Eignung der Modulbauart und der Membran selbst konnte auf Basis der Versuche noch keine endgültige Aussage getroffen werden, da die Vermutung nahe lag, dass das hochmolekulare Flockungshilfsmittel, das in der Klärung des Abwasserablaufes eingesetzt wurde, und die nicht ausreichende Vorfiltration weitere Ursachen für die schwache Performance darstellten.

Deutlich werden auch die wirtschaftlichen Grenzen des getesteten Entwicklungsstandes: Wären doch für eine Permeatgewinnung von 8,5 m³/h bei einer Permeabilität von etwa 0,2 l/(m² h bar) und einem Transmembrandruck von 22 bar etwa 1900 m² Membranfläche erforderlich!

6.2.2 Kissenmodul IVT 2002

Hatte die Pilotierung mit Spiralwickelmodulen (Kapitel 6.2.1) im Jahr 2001 zwar gezeigt, dass eine Aufbereitung des Ablaufs der Abwasserbehandlung grundsätzlich möglich ist, waren doch wesentliche Probleme nach wie vor ungelöst.

Vor allem der Einfluss der Trübung verursachenden Inhaltstoffe des Abwassers und die daraus entstehenden Ablagerungen und die Möglichkeiten zur Entfernung bzw. Vermeidung derselben standen im Focus der weiteren Untersuchung. Es sollte aber auch der Einfluss der Modulkonstruktion und des Membranwerkstoffs auf das Prozessdesign beleuchtet werden.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Verfahrenstechnik der RWTH Aachen wurde eine Versuchsreihe mit einer Pilotanlage durchgeführt, die mit Polyamid-Komposit-Membrankissen bestückt war. Diese asymmetrisch aufgebaute Polymermembran der Firma Rochem wurde speziell für Wässer mit hohem Foulingpotential entwickelt./Lay 2002/⁷⁴

6.2.2.1 Aufbau und Funktion der Pilotanlage

Das in Abbildung 6-8 dargestellte R&I Fließbild zeigt den Aufbau der vom IVT zusammen mit Rochem entwickelten Versuchsanlage.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

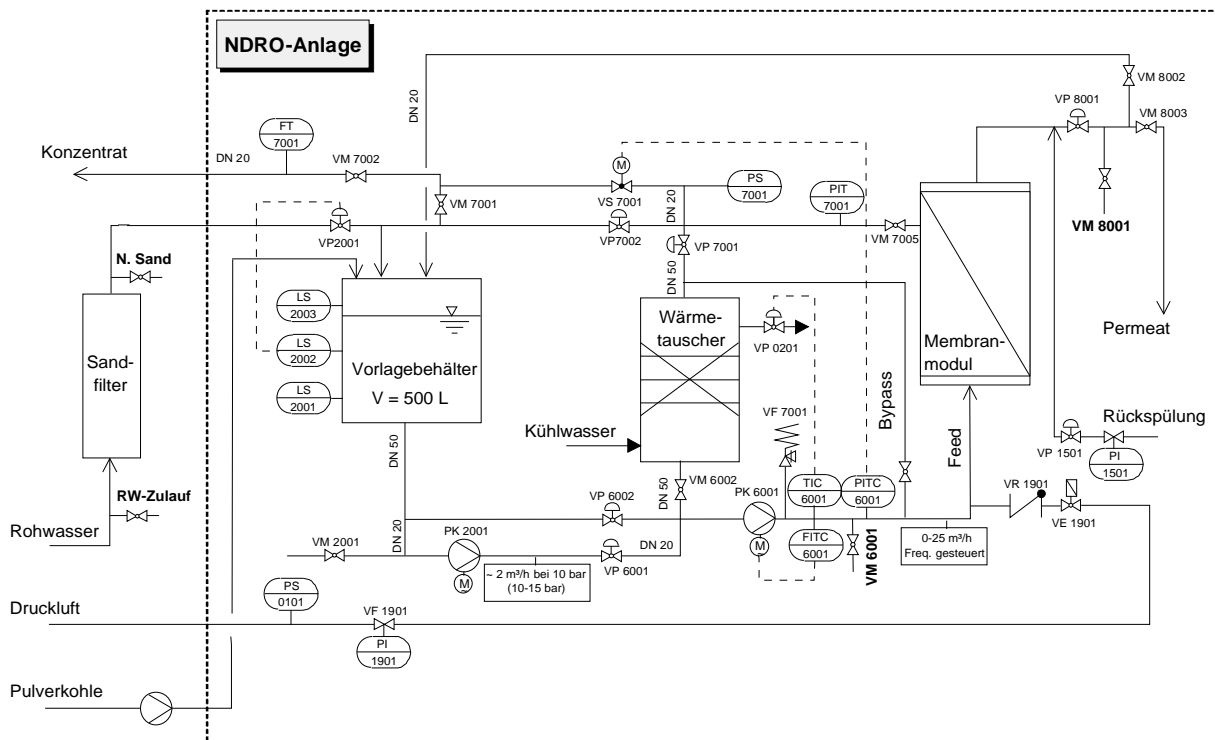


Abbildung 6-8 R&I Fließbild IVT-Pilotanlage /Lay 2002/75

Sandfilter und Pulverkohlebeschickung wurden speziell für die hier durchgeführte Versuchsreihe zur Anlage ergänzt.

Der Zulauf erfolgte niveaugesteuert in den Vorlagebehälter zunächst ohne, später mit Sandfilter. Das Flat-Membrane-Modul (FM-Modul) mit einer Fläche von 10 m² wurde nach dem „feed and bleed Prinzip“ betrieben mit einer Kreislaufführung, die zur Abführung von Pumpenenergie über einen Wärmetauscher gefahren und im Bypass in den Vorlagebehälter geleitet werden konnte.

Mittels Regelung des Konzentratstromes und Drehzahl der Zirkulationspumpe wurde der Zulaufdruck konstant gehalten.

Zum diskontinuierlichen Deckschichtabtrag war die Niederdruckumkehrosmose (NDRO)-Anlage mit einer periodischen Modulspülung ausgerüstet. Dabei konnte eine zulaufseitige Luftblasenspülung von unten in das vertikal eingebaute Modul vorgenommen werden. Eine permeatseitige Wasserrückspülung war ebenfalls möglich.

Die von der SPS-Steuerung der Anlage erfassten Messwerte wurden mit der Software WinMes im 3-Minuntentakt aufgezeichnet und mit Standard-Office-Software ausgewertet.

Bezeichnung (R&I)	Messwerte	[Einheit]
FT 6001	Zulaufvolumenstrom	[m ³ /h]
PK 6001	Leistung der Umwälzpumpe	[%]
PT 6001	Zulaufdruck	[bar]
TT 6001	Zulauftemperatur	[°C]
PT 7001	Konzentratdruck hinter dem Modul	[bar]
FT 8001	Aus der Anlage abgeführter Permeatvolumenstrom	[l/h]
FT 7001	Aus der Anlage abgeführter Konzentratvolumenstrom	[l/h]

Tabelle 6-2 Messwerte NDRO /Lay 2002/76

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Tabelle 6-2 Messwerte NDRO zeigt die aufgezeichneten Messwerte.

Proben aus dem Rohwasserzulauf, mit Sandfilter vorbehandeltem Rohwasser, aufkonzentriertem Zulaufstrom sowie dem Permeatstrom wurden während des Betriebs der Anlage zur Analyse an den installierten Kugelhähnen entnommen.

Der Produktionsprozess lief automatisiert in den Schritten Produktion, Druckbeaufschlagung, Entspannung, zulaufseitige Luftspülung und Cross-Flow-Spülung ab. Die permeatseitige Druckbeaufschlagung dauerte 60s, die Entspannung 10s, die Luftblasenspülung 60s und die Cross-Flow-Spülung 5s. Das Intervall zwischen den mechanischen Reinigungen wurde variiert.

Die chemischen Reinigungen der Membran in der Anlage wurden im manuellen Betrieb vorgenommen.

6.2.2.2 Untersuchte Parameter

Die in der nachfolgenden Tabelle ... dargestellten Parameter wurden untersucht. Die Analyseergebnisse sind im Anhang 16.7 detailliert aufgeführt.

Außerdem wurde mittels einer Testzellenanlage im Institut für Verfahrenstechnik der RWTH Aachen /Lay 2002⁷⁷ der Reinigungszustand von verwendeten Einzelmembranen nach Behandlung mit unterschiedlichen Reinigungsmitteln anhand der Flusswerte mit entionisiertem Wasser bei einem TMP von 4 bar bewertet.

Den ermittelten Werten wurden die Flussraten von neuen, unbenutzten Membranen, die in gleicher Weise ermittelt wurden, gegenübergestellt.

Untersuchte Parameter Umkehrosiose mit FM-Modul			
Abwasserparameter	Kationen	Anionen	Sensorik
CSB	Natrium (Na ⁺)	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Geruch
pH	Kalium (K ⁺)	Nitrit (NO ₂ ⁻)	Trübung
	Calcium (Ca ²⁺)	Phosphat (PO ₄ ³⁻)	
	Magnesium (Mg ²⁺)	Chlorid (Cl ⁻)	
		Sulfat (SO ₄ ²⁻)	
Prozessparameter		Mikrobiologie	
Einfluss von Pulverkohledosierung		Gesamtkeimzahl	
Einfluss der Vorfiltration m. Sandfilter			
Reinigungsmittel für Membranreinigung			

Tabelle 6-3 Untersuchte Parameter FM-Modul-Umkehrosiose

Außerdem wurde mit den neuen und gebrauchten Membranen ein Standardsalztest durchgeführt (C_{NaCl} = 1 g/l, Zulaufdruck 8 bar, Überströmgeschwindigkeit 0,7 m/s).

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.2.2.3 Ergebnisse Produktionsversuche

In insgesamt 20 Testläufen wurden vier verschiedene Prozessvarianten erprobt. Diese unterschieden sich 1. durch die Vorbehandlung – ohne Vorbehandlung (NDRO) bzw. mit Sandfilter (SF)-, 2. die Dosierung von 0,5 g/l bis 1,5 g/l Braunkohlekoksstaub (BKKS 0,5 und BKKS 1,5) zur Unterdrückung des Fouling.

Die ausgewerteten Testläufe wurden mit einem Zulaufdruck von 10 bar durchgeführt. Die Überströmgeschwindigkeit (berechnet als Quotient aus Volumenstrom / Strömungsquerschnittsfläche des Kissenstapels) betrug 0,7 m/s, das Intervall zwischen den Membranspülungen betrug 30 min. Zeitweise Verringerung des Intervalls auf 6 min oder Erhöhung der Überströmgeschwindigkeit auf 1,0 m/s ergaben keine erkennbare Beeinflussung des Permeatflusses.

In der Abbildung 6-9 sind die Permeatflüsse von je einem typischen Testlauf der vier Prozessvarianten dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass bei allen Prozessvarianten der Permeatfluss nach längstens 1,5 Tagen unter 50 % des Ausgangsniveaus abgefallen war.

Der Einsatz des Sandfilters erbrachte keine Verbesserung des Verblockungsverhaltens, wogegen die Dosierung von 0,5 g/l Braunkohlekoksstaub eine erkennbare Verlangsamung des Permeatflussabfalls bewirkte.

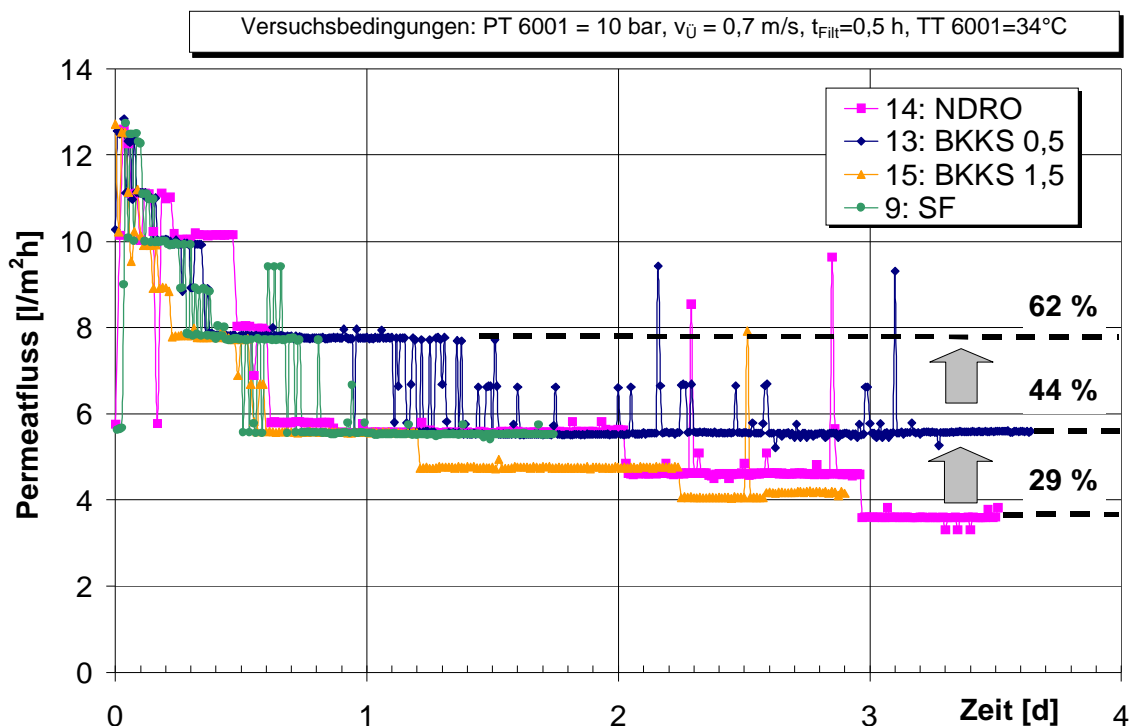


Abbildung 6-9 Permeatfluss verschiedener Prozessvarianten /Lay 2002/⁷⁸

Im günstigsten Fall lag die Permeabilität nach 2 Tagen bei 0,55 l/(m²*h*bar).

Die CSB- Werte des Permeats lagen, solange der CSB im Zulauf unter 300 mg/l blieb, unterhalb der Bestimmungsgrenze der Analysenmethode, die 5 mg/l beträgt. In der folgenden Darstellung ist die Bestimmungsgrenze als niedrigster Messwert angenommen. Es wird deutlich, dass die CSB-Abtrennung der Membran wunschgemäß erfolgte.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

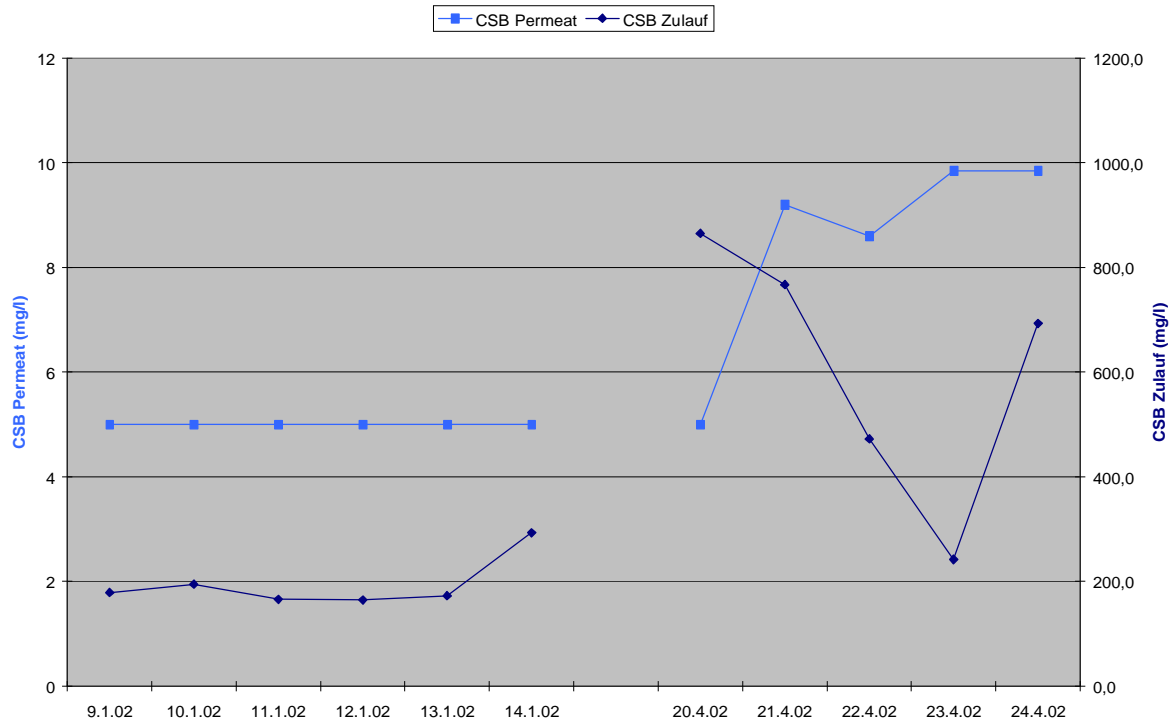


Abbildung 6-10 CSB im Zulauf und Permeat des FM-Moduls

Der Rückhalt der untersuchten Inhaltstoffe, berechnet aus den Mittelwerten der Tagesanalysen von 11 Versuchstagen, ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

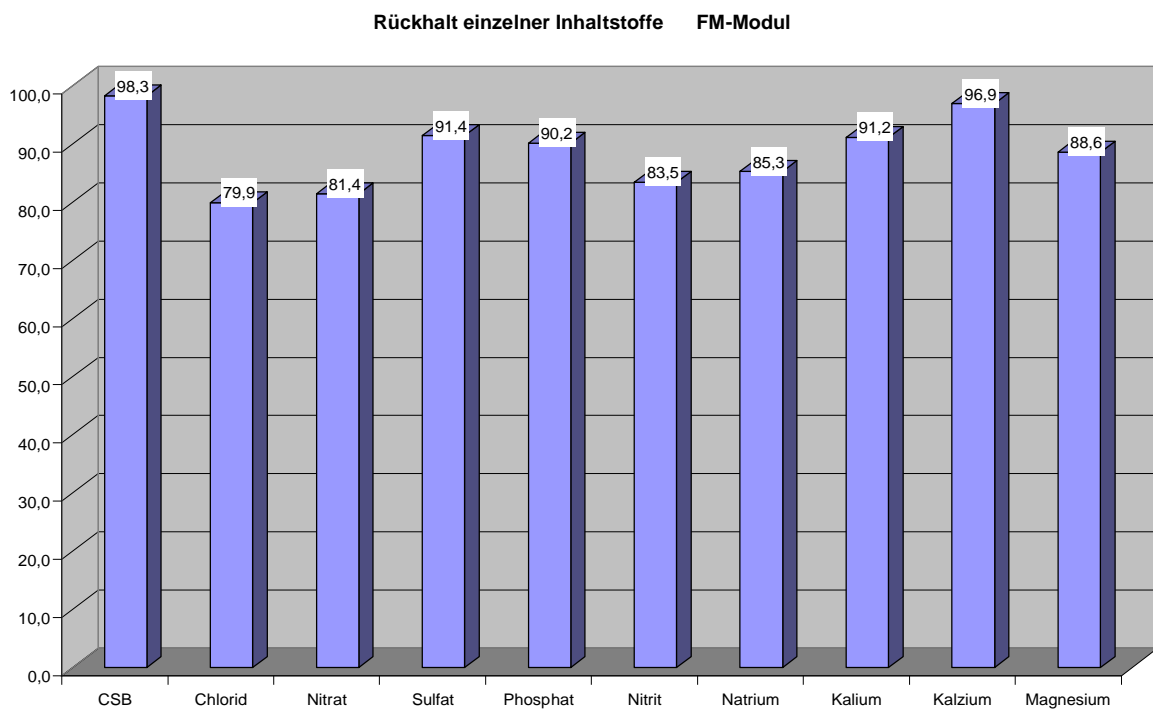


Abbildung 6-11 Rückhalt des FM-Moduls der untersuchten Inhaltstoffe

Während die Trübung des Zulaufs zwischen 6 und 42 NTU stark variierte, war im Permeat in keiner Probe die Trübung oberhalb der Bestimmungsgrenze. Der Geruch des Permeats war neutral.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Auf DEV-Agar wurden an drei verschiedenen Tagen im Permeat zwischen 64 und 120 keimbildende Einheiten pro ml gefunden.

Bei der Demontage des Moduls nach den ersten fünf Testläufen ohne Vorfiltration und Kohledosierung zeigte sich, dass sich auf der Membran ein schleimiger, fest haftender Belag gebildet hatte, der durch saure Reinigung nicht lösbar war.

Der Standardsalztest ergab eine auf 19% reduzierte Permeatleistung im Vergleich zur neuen Membran. Der Rückhalt hatte sich durch den Belag von 95% auf 97% erhöht.

Die folgende Abbildung zeigt ein geöffnetes Modulsegment mit Belag nach saurer Reinigung in der Anlage.

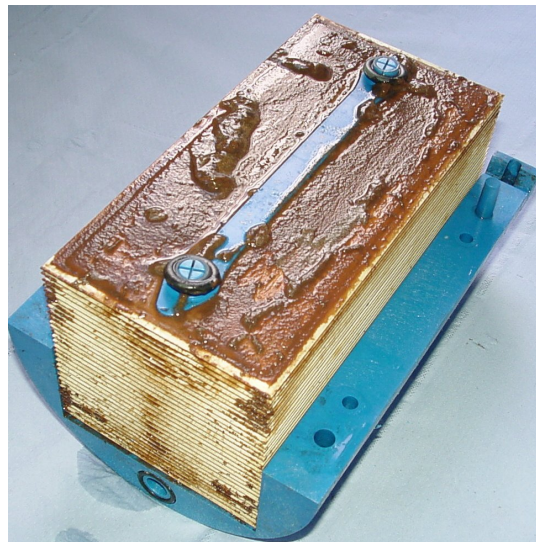


Abbildung 6-12 Modulsegment mit Membranbelag nach 5 Testläufen /Lay 2002/⁷⁹

Es sei hier noch einmal erwähnt, dass im Zeitraum der Tests in der Sedimentation der Abwasseranlage mit einem hochmolekularen, stark kationischen Polymer als Flockungshilfsmittel gearbeitet wurde (Ciba ZETAG 7878). Da der Betrieb der Abwasseranlage auf den Flockungshilfsmiteleinsatz in der Sedimentation angewiesen war, konnten zu diesem Zeitpunkt keine Praxisversuche ohne Polymereinsatz durchgeführt werden.

Für die weiteren Testläufe wurden die Membranen erneuert.

Nachdem die Kohledosierung eingeführt und ein wirksames Reinigungsverfahren (s. auch Kap 6.2.2.4) gefunden war, zeigte sich die Membran nach der Reinigung in deutlich besserem Zustand.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Im Standardsalztest erwies die Membran nach Abschluss der Tests einen Rückhalt von 96% und einen Permeatfluss von 56 % des Wertes der neuen Membran.

Die folgende Abbildung zeigt die Ansicht eines ausgebauten Modulsegments am 26.April.2002 mit mikroskopischer Untersuchung.

Auch die 50- und 500-fache Vergrößerung lässt nur Kohlereste aber keine Reste eines Foulingbelags erkennen.

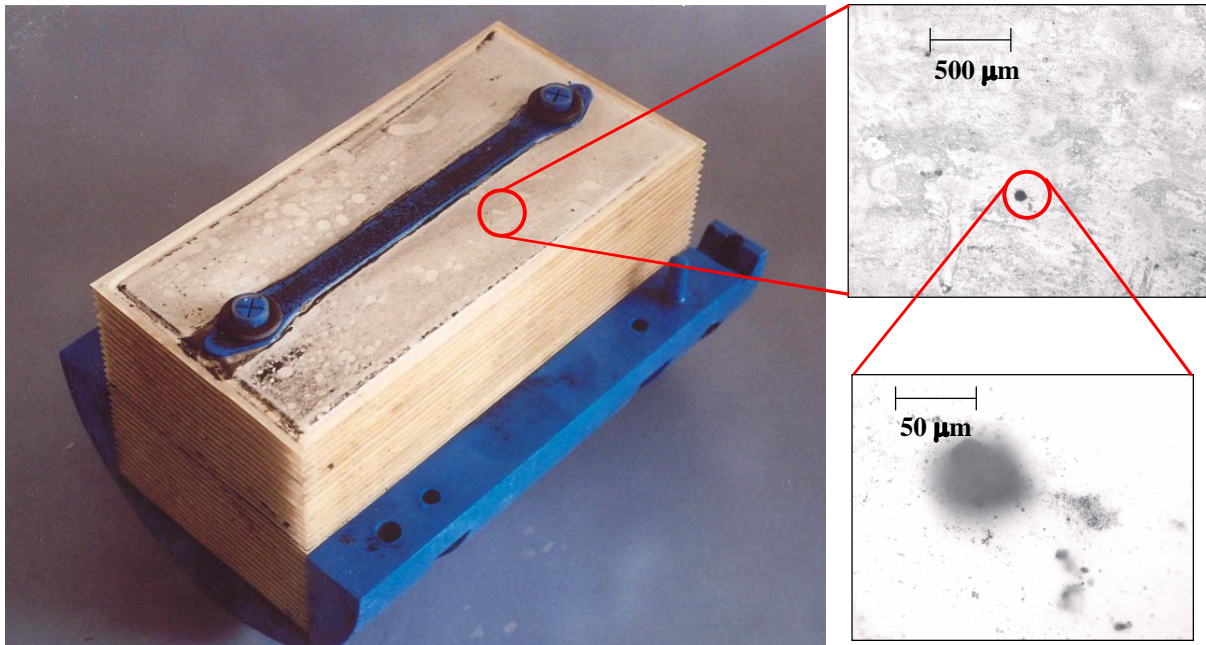


Abbildung 6-13 Modulsegment am Ende der Tests nach Reinigung
/Lay 2002/⁸⁰

6.2.2.4 Ergebnisse Reinigungsversuche

Um ein wirksames Reinigungsverfahren zu entwickeln, wurden in mehreren Testreihen benutzte Membrankissen mit verschiedenen Reinigungsmitteln in vom Hersteller empfohlener Konzentration etwa 30 Minuten im Tauchbad behandelt und der Permeatfluss in der Testzellenanlage des Instituts für Verfahrenstechnik der RWTH Aachen /Schleger 1999/⁸¹ mit entionisiertem Wasser bei 4 bar gemessen.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

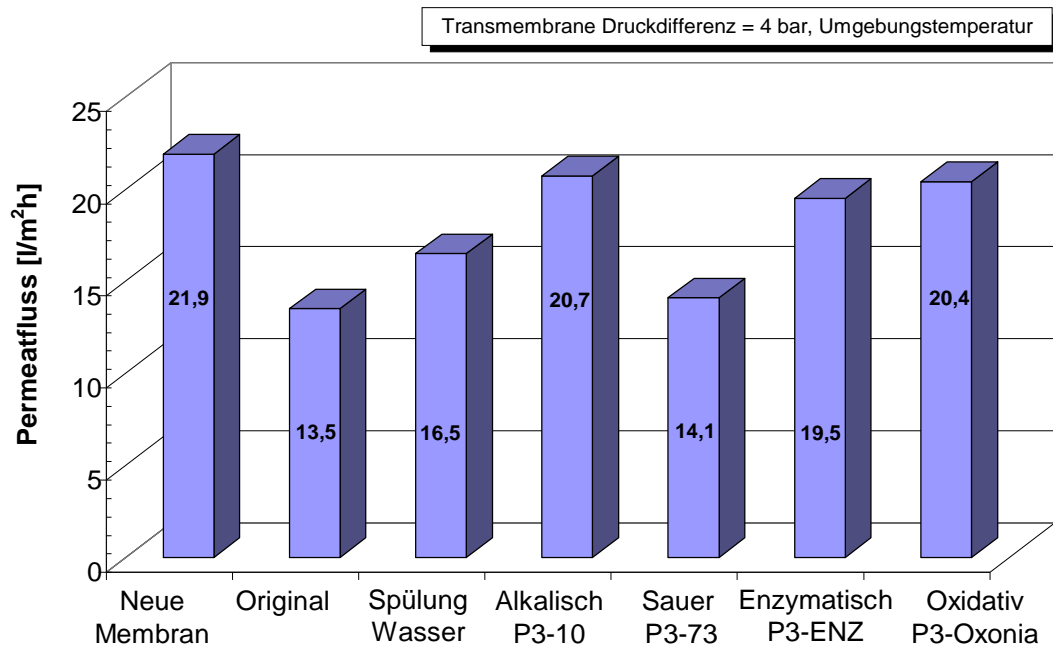


Abbildung 6-14 Permeatfluss im Testzellenversuch nach verschiedenen Reinigungen /Lay 2002/⁸² (Original bezeichnet die benutzte Membran im Ausbaurzustand)

Aus der Abbildung geht hervor, dass die alkalische und die oxidative Reinigung die beste Wirkung gegen den gebildeten Belag zeigten. Dies deutet darauf hin, dass die Deckschicht überwiegend aus Biomasse aufgebaut war, es sich also vor allem um ein Fouling-Phänomen und weniger um Scaling handelte.

Dementsprechend wurde eine kombinierte alkalisch-oxidative Reinigung an der Pilotanlage eingeführt:

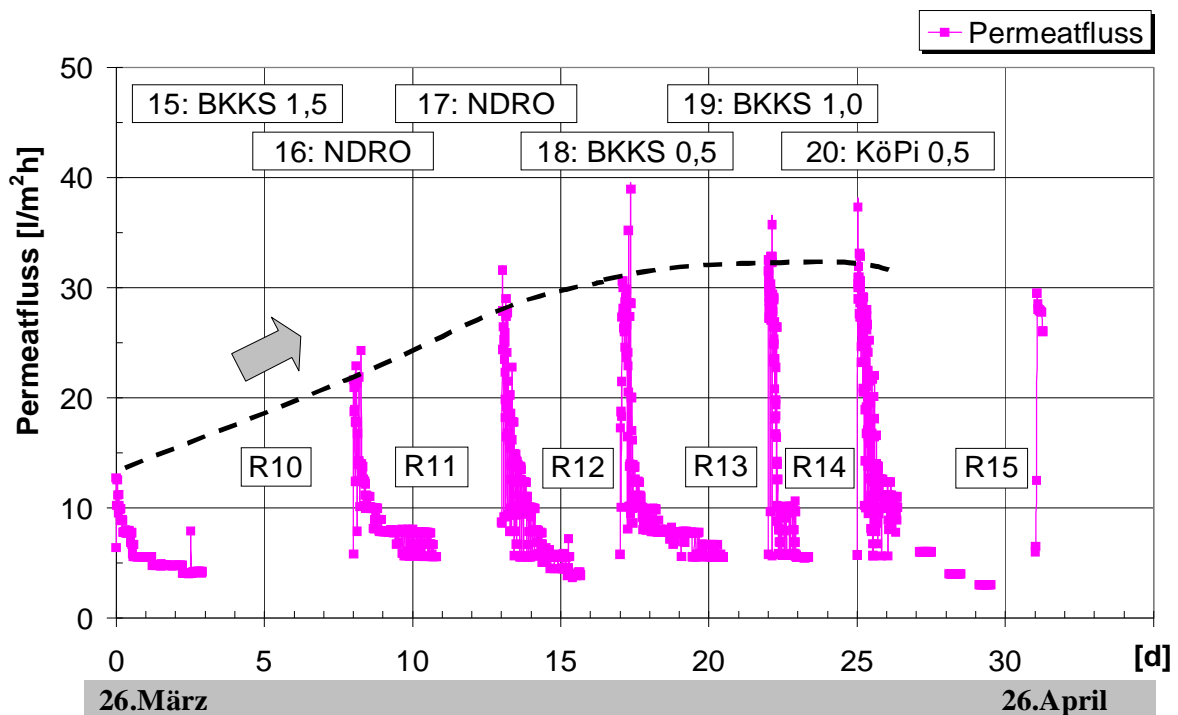


Abbildung 6-15 Anfänglicher Permeatfluss nach alkalisch-oxidativen Reinigungen R 10-15 in den 4 Prozessvarianten (20:KöPi 0,5 = Dosierung von 0,5 g/l Braunkohlestaub aus der Kesselfeuerung) /Lay 2002/⁸³

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Darstellung verdeutlicht die Verbesserung des anfänglichen Permeatflusses durch Verwendung der kombinierten alkalisch-oxidativen Reinigungsmethode. Sie wurde erzielt mit einer Betriebsweise von 3 Tagen Produktionsbetrieb im Wechsel mit einer 2 Tage dauernden Reinigung. Eine verlängerte Betriebszeit von 5 Tagen führte zu verschlechterter Reinigungswirkung bei der letzten durchgeführten Reinigung.

Der anfängliche Permeatfluss wurde von Reinigung zu Reinigung gesteigert bis auf ein stabilisiertes Niveau von 32 l/m²h. Dies entspricht 80 % der Leistung einer neuen Membran.

6.2.2.5 Resümee

Die Versuchsserie hat unter Beweis gestellt, dass eine Aufbereitung des Klarlaufs der Abwasservorbehandlungsanlage durch eine Umkehrosmose mit FM-Modulen technisch realisierbar und im Dauerbetrieb zu betreiben ist. Die Eignung der Modulbauart und der Membran selbst kann auf Basis der Versuche als bestätigt gelten.

Hinsichtlich CSB- und Salzurückhalt konnten die erwarteten Ergebnisse erreicht werden.

Die Zahl der Kolonie bildenden Einheiten lag z. T. geringfügig außerhalb der Grenzwerte der TVO 2001. Eine Keimreduzierung ist jedoch auf verschiedene Weise durchführbar, z. B. durch UV-Behandlung oder ClO₂Dosierung.

Sensorisch wäre das Permeat dieser Versuchsserie ohne weitere Behandlung verwendbar gewesen.

Die erzielte Permeatausbeute lag bei 60% mit Schwankungen von ± 10 %.

Die erzielten Permeabilitäten in der Testserie ließen bei den gegebenen Membrankosten keine Anlagenauslegung im wirtschaftlichen Bereich zu.

Die Aufbereitungskosten pro m³ inkl. Membranersatzkosten und Kapitalkosten lägen höher als das erschließbare Einsparpotential aus Frischwassereinsparung und Abwasserreduzierung.

Die Ursache für die geringe Permeabilität der Umkehrosmosemembran bestand zu einem wesentlichen Teil in der Belastung der Membran mit Biomasse aus der Abwasseranlage. Dass auch Reste des Flockungshilfsmittels aus der Sedimentation die Belagbildung und -haftung gefördert haben, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, konnte aber im Rahmen der Tests nicht untersucht werden, da sonst die Funktion der Abwasserreinigung gefährdet worden wäre.

Durch den Einsatz von Braunkohlekoksstaub konnte eine Stabilisierung der Permeabilität auf ausreichend hohem Niveau nicht erreicht werden.

6.3 Zweistufige Anlagen

Nicht erst nachdem sich gezeigt hatte, dass mit den verfügbaren Anlagen- und Verfahrenskonzepten keine wirtschaftliche einstufige Lösung für das Recycling des Abwassers gefunden werden konnte, wurden zweistufige Anlagen in Erwägung gezogen. Während der erste der Pilotversuche noch die Kombination aus Optimierung der Abwasserbehandlung und Brauchwassergewinnung zum Ziel hatte, basierten die späteren Pilotierungen bereits auf einer substanziell verbesserten aeroben Abwasserbehandlung.

6.3.1 Membran-Bio-Reaktor-Technologie Zenon 97/98

Beginnend im Oktober 1997 wurde im Pilotmaßstab ($3\text{m}^3/\text{d}$) mit Hilfe der MBR-Technologie die Abwasserreinigung und anschließende Aufbereitung mit nachgeschalteter Umkehrosmose untersucht. /Zenon 1998/⁸⁴.

6.3.1.1 Aufbau der Pilotanlage

Die ZenoGem[®] Pilotanlage bestand aus einem Reaktor von 3800 l Gesamtvolumen und einem Filtrationstank von 800 l Inhalt. Der Reaktor war unterteilt in einen belüfteten Teil mit 3000 l Inhalt und einen unbelüfteten Teil mit Rührwerk von wiederum 800 l, in dem die Denitrifikation stattfand. Vom Reaktor wurde der Filtrationstank mittels Pumpe beschickt, wobei der Überschuss als Schlammrückführung zum Reaktor zurücklief. In den Filtrationstank waren 2 Zeeweed[®] 50 Module eingebaut, über die der Abwasserablauf abgesaugt wurde.

Von einem Zwischenbehälter wurde die Umkehrosmoseanlage beschickt. Darin waren zwei Spiralwickelmodule 2,5" x 40" eingebaut. Die Anlage verfügte über eine Kolbenpumpe für die Erzeugung des treibenden Druckgefälles und der Überströmung.

Die Versuchsdurchführung erfolgte in drei Phasen. Zunächst wurde Schlamm aus der kommunalen Kläranlage adaptiert und im Reaktor angezüchtet.

In der zweiten Phase wurde die Leistung des Bioreaktors untersucht. In der dritten Phase wurde versucht, das Permeat des Membran-Bioreaktors über Umkehrosmosemembranen weiter aufzubereiten.

Die folgende Abbildung zeigt das Verfahrensfliessbild der Anlage.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

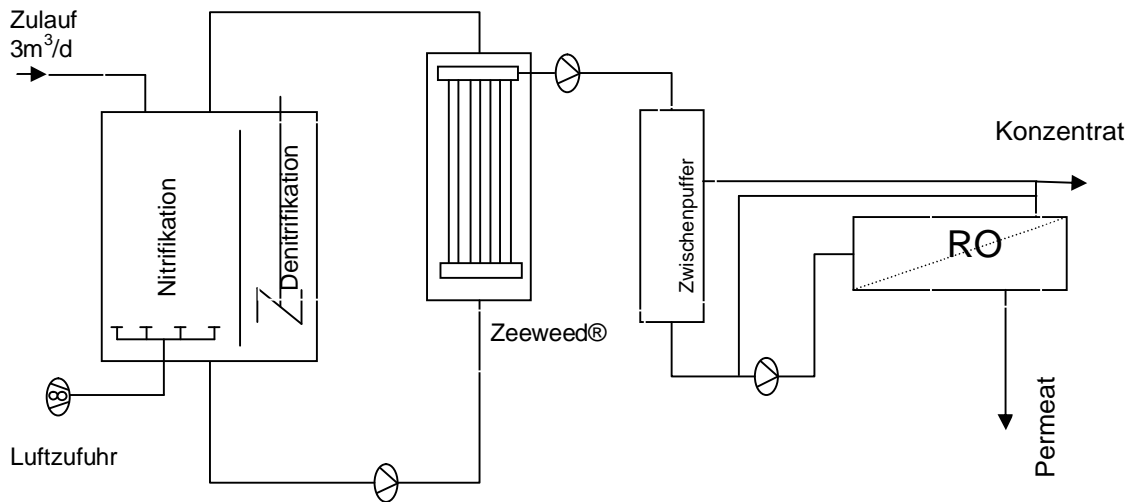


Abbildung 6-16 Fließbild der ZenoGem®-Anlage mit nachgeschalteter Umkehrosmose

Die transmembrane Druckdifferenz über das Hohlfasermodul betrug im Mittel 0,1 bar. Eine Reinigung der Zeeweed®-Membran zur Wiederherstellung der Permeabilität war im Versuchszeitraum nicht erforderlich.

6.3.1.2 Untersuchte Parameter

Um die Leistung des Bioreaktors beurteilen zu können, wurde in Laborproben jeweils vom Zulauf zur Anlage und Ablauf zum Zwischenpuffer CSB, TKN, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NO}_2\text{-N}$ bestimmt. Außerdem wurde der Trockensubstanzgehalt im Reaktor bestimmt, der Volumenstrom über den Reaktor und die Tagesmenge zum Reaktor sowie Temperatur und pH im Reaktor.

Zur Beurteilung der Umkehrosmose wurden jeweils im Zu- bzw. Ablauf CSB, Chlorid, Nitrat, Sulfat, Härte, pH und Leitfähigkeit gemessen sowie die Konzentrationen von Calcium, Magnesium, Natrium, Mangan und Eisen bestimmt.

6.3.1.3 Ergebnisse der MBR-Anlage

In der Adaptionphase konnte die Biomasse im Reaktor schnell auf $>20\text{g/l}$ TS angezüchtet werden.

In der Zeit vom 24.11.1997 bis 19.12.1997 konnten an 15 Tagen auswertbare Probeergebnisse gewonnen werden. An den übrigen Tagen war keine Auswertung möglich, da durch technische Fehler kein regulärer Betrieb der Anlage möglich war. Während der ersten Versuchsphase lag die mittlere Schlammbelastung bei $0,05\text{ kg-CSB} / (\text{kg-TS d})$. Bildung von Überschussschlamm wurde dabei nicht beobachtet.

Der Abbau der organischen Belastung gemessen anhand der Zu- und Ablaufwerte des CSB ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

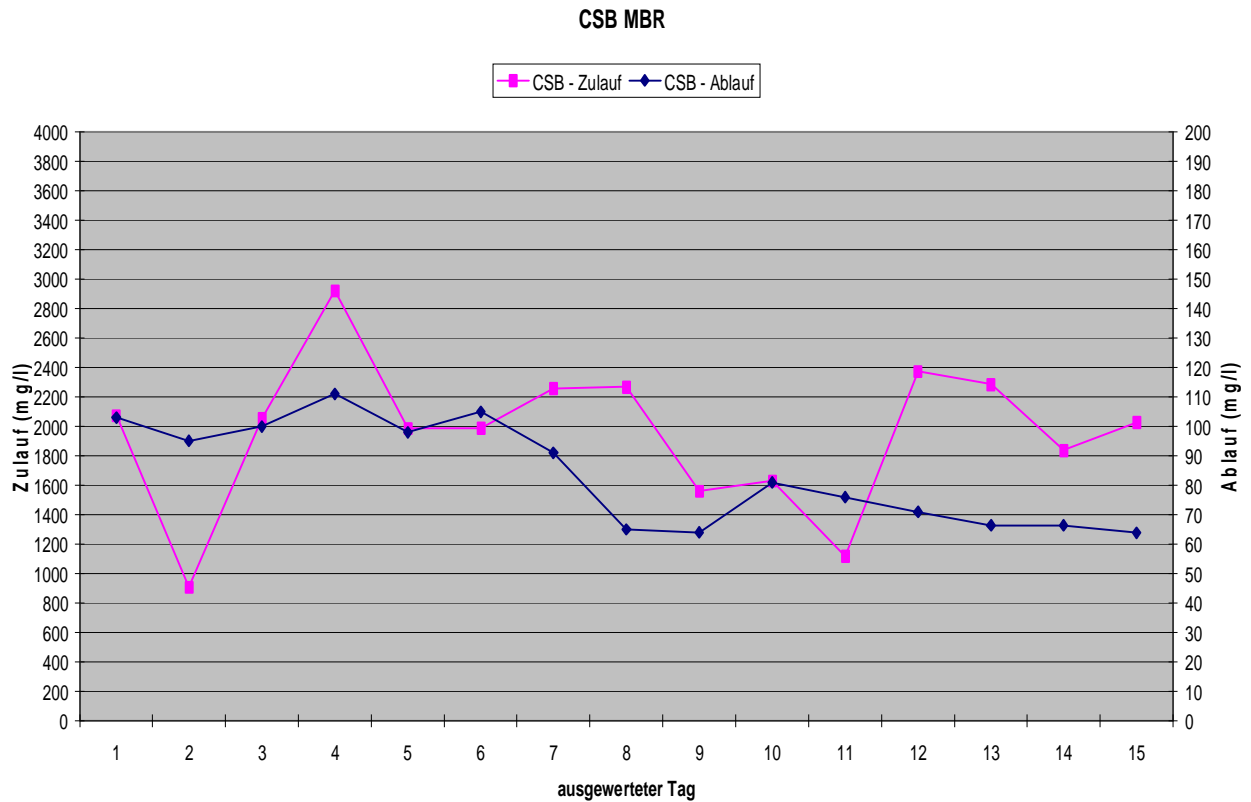


Abbildung 6-17 CSB vor und nach MB-Reaktor

Während der Zulauf zwischen 2920 mg/l und 910 mg/l schwankte blieb während der gesamten Versuchsphase der Ablaufwert zwischen 64 mg/l und 111 mg/l quasi konstant.

Die Stickstoffeliminierung wurde anhand des Kjeldahlstickstoffs (TKN) und des Nitrats verfolgt. Die Nitrifikation erfolgte wunschgemäß, wie aus der folgenden Abbildung an der Veränderung des TKN ersichtlich ist.

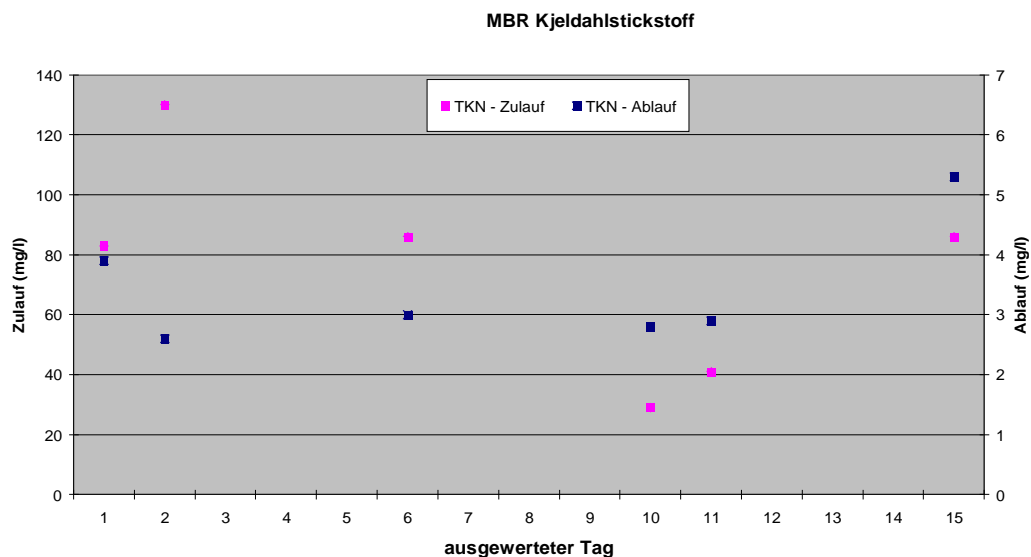


Abbildung 6-18 Kjeldahlstickstoff vor und nach MBR

Die Denitrifikation fand jedoch nicht bzw. nicht im gewünschten Maße statt. Das Nitrat erfuhr sogar eine starke Zunahme im Reaktor.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

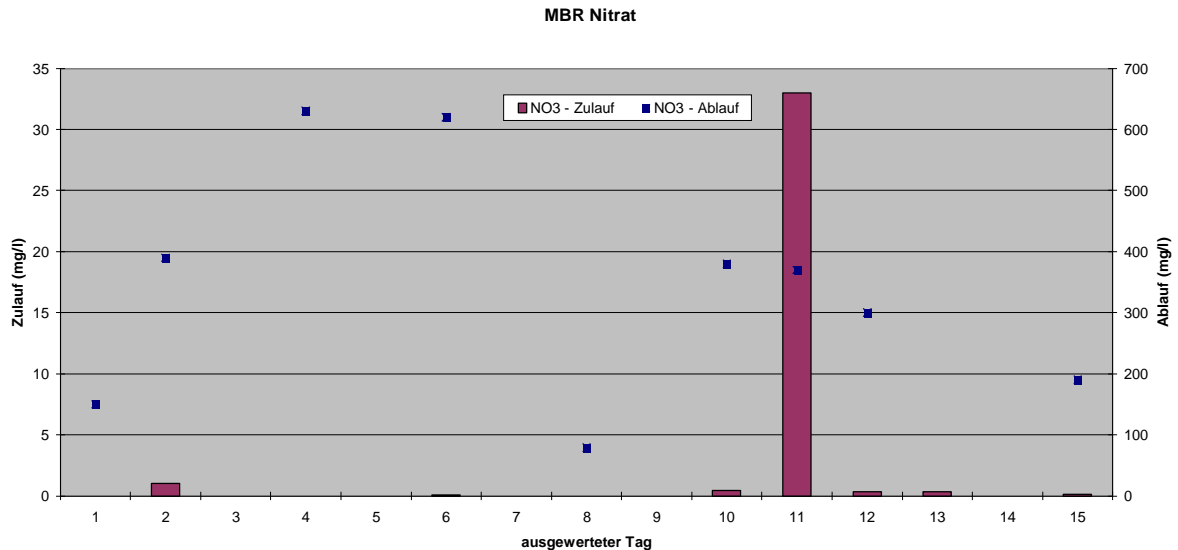


Abbildung 6-19 Nitrat vor und nach MB-Reaktor

Als Ursache für dieses unerwartete Phänomen kommen das relativ klein bemessene Denitrifikationsvolumen, unerwünschter Sauerstoffübertritt durch zu starke Strömung in den unbelüfteten Reaktorteil oder nicht ausreichender Austausch zwischen den Reaktorteilen in Frage.

Eine Verfolgung des Nitrits war aufgrund von Problemen bei der Analytik nicht möglich.

Der Phosphatrückgang im MBR-Prozess ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

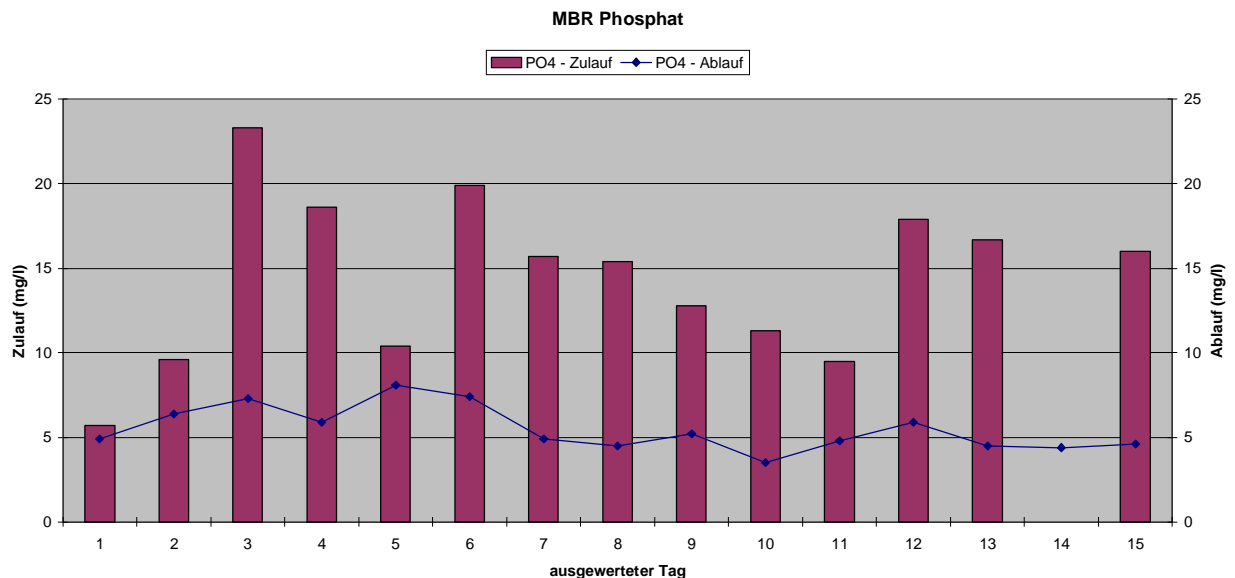


Abb. 6-20 Phosphat vor und nach MB-Reaktor

Die Zulaufwerte des Phosphates schwankten zwischen 5,7 mg/l und 23,3 mg/l während die Ablaufwerte zwischen 3,5 mg/l und 8,3 mg/l eine geringere Schwankungsbreite aufwiesen.

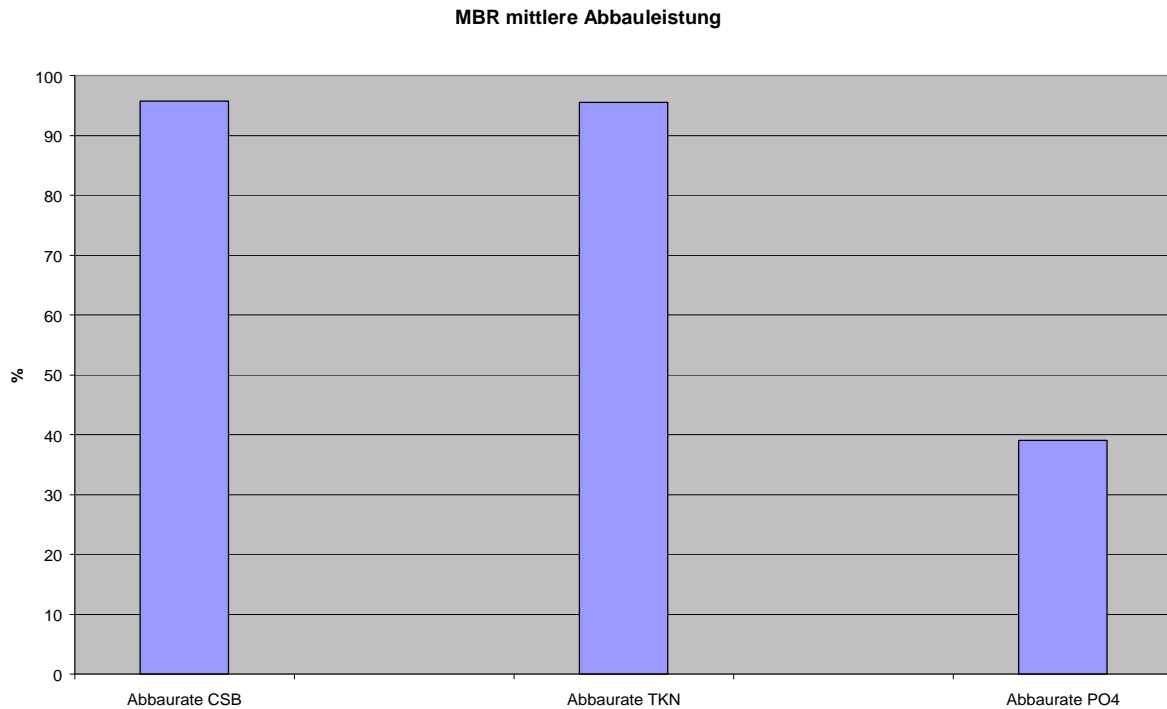


Abbildung 6-21 Abbauleistung MBR

Die obige Abbildung zeigt die Mittelwerte der prozentualen Abbauraten für CSB, TKN und Phosphat für den Membranbioreaktor in der ersten Versuchsphase.

In einer zweiten Versuchsphase wurde der CSB-Wert im Zulauf durch Verdünnung mit Filtrat auf rund 400 mg/l eingestellt. Dabei fanden sich vergleichbare Resultate zu denen der ersten Phase. Obwohl der CSB im Ablauf niedriger lag als bei unkontrolliertem CSB im Zulauf, lag die Abbauleistung des CSB mit 77% im Vergleich niedriger.

Die Schlammbelastung in der zweiten Phase lag nur noch bei 0,02 kg CSB / (kg TS d). Es zeigte sich, dass ein Rest-CSB-Gehalt von 60-80 mg/l nicht aerob abbaubar war. /Zenon 1998/⁸⁵ Während der zweiten Phase wurde die Umkehrosioseanlage getestet.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.3.1.4 Ergebnisse der Umkehrosmose-Anlage

Auswertbare Protokolldaten liegen vom 13.1.1998 bis 16.1.1998 vor. Die Anlage war mit zwei Modulen bestückt, die die Nr. Codes 6084446 und 6176933 trugen. Es handelte sich um Spiralmembranen 2,5''x 40'' mit je 1,7m² Membranfläche. Es wurden keine Anti-Scaling Mittel eingesetzt.

Die Anlage wurde in einem ersten Lauf am 13.1. bis 15.1.1998 mit 21 bar Druck beaufschlagt.

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Volumenströme für Zulauf, Permeat und Konzentrat sowie den Druckverlauf.

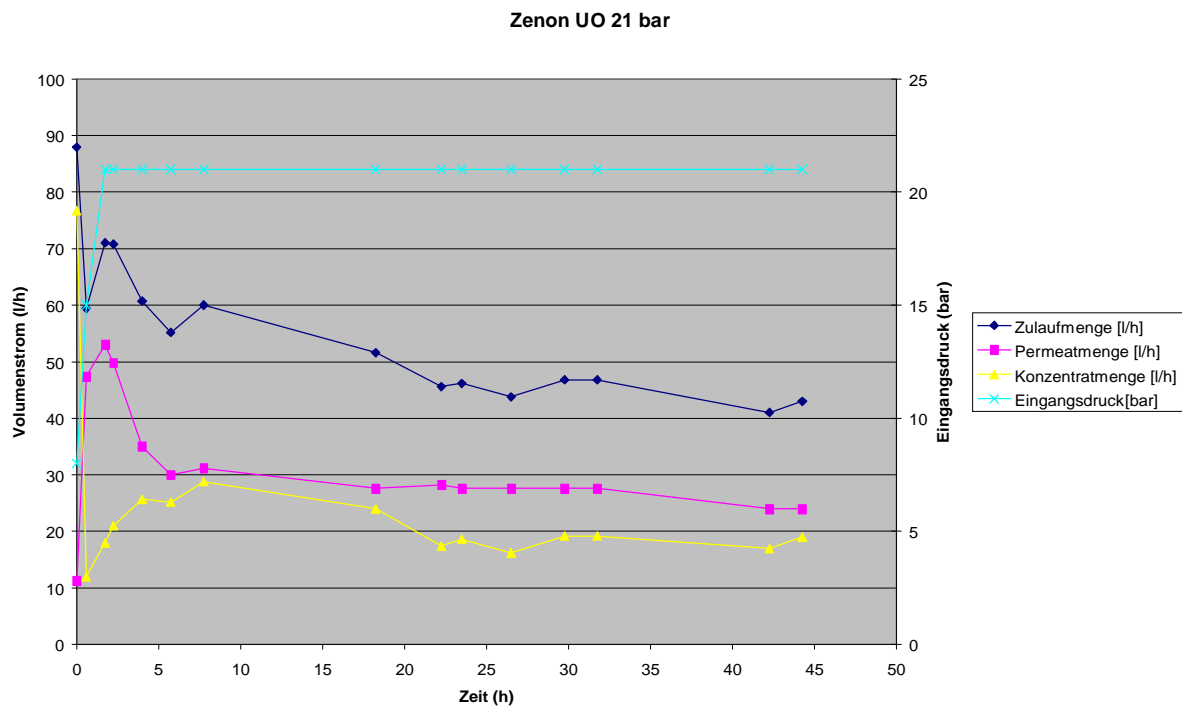


Abbildung 6-22 Zenon Umkehrosmose Volumenströme bei 21bar, Start 13.1.98, 13.45h

Der Permeatvolumenstrom sank innerhalb der ersten fünf Stunden rapide ab und fiel dann nur noch langsam aber stetig weiter. Der Versuch wurde nach 45 h abgebrochen, da der erwartete Permeatvolumenstrom von mehr als 50 l/h nicht erreicht wurde.

Der Permeatfluss lag im Mittel bei 10 l/(m²h) bei einer Permeabilität von 0,46 l/(m² h bar).

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

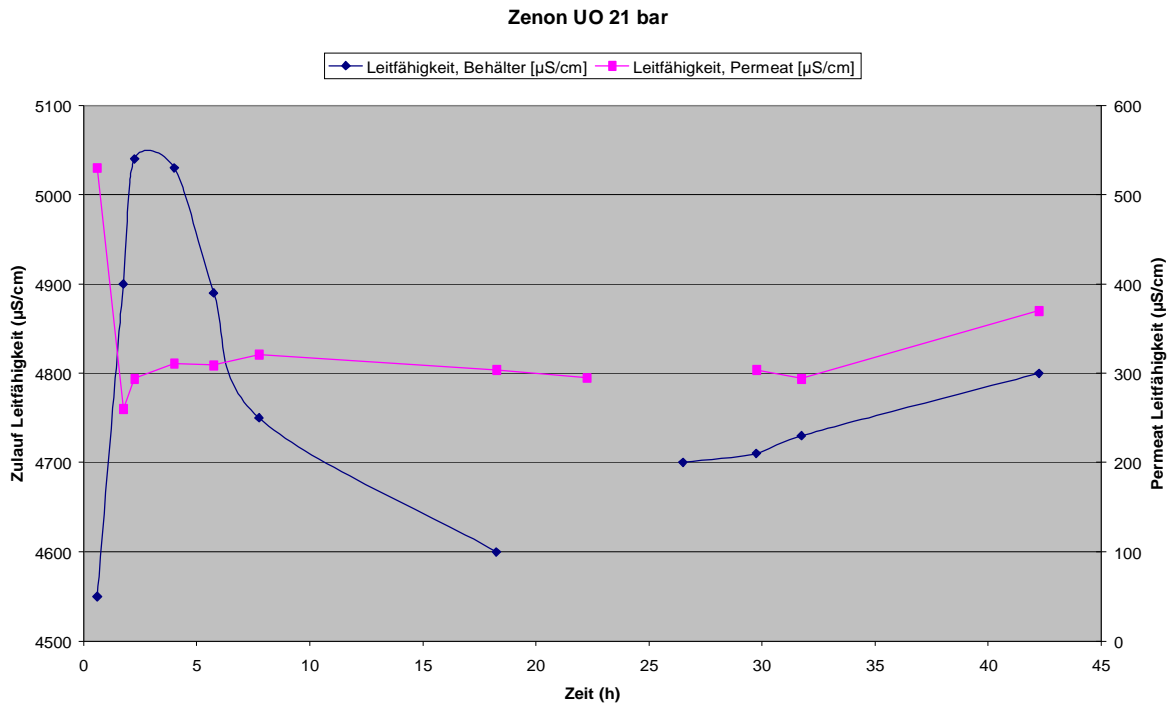


Abbildung 6-23 Zenon Umkehrosmose Leitfähigkeiten bei 21bar, Start 13.1.98, 13.45h

Die gemessenen Leitfähigkeitswerte über den Versuchsverlauf sind in der Abbildung 6-24 dargestellt. Die Leitfähigkeit im Behälter kennzeichnet den Zulauf. Gemessen an der Leitfähigkeit betrug der Salzurückhalt im Mittel 93 %.

Im zweiten Lauf wurde der Eingangsdruck auf 35 bar angehoben. Der anfängliche Permeatvolumenstrom lag dabei über 250 l/h. Der Abfall erfolgte aber noch erheblich schneller als bei dem 21-bar-Versuch.

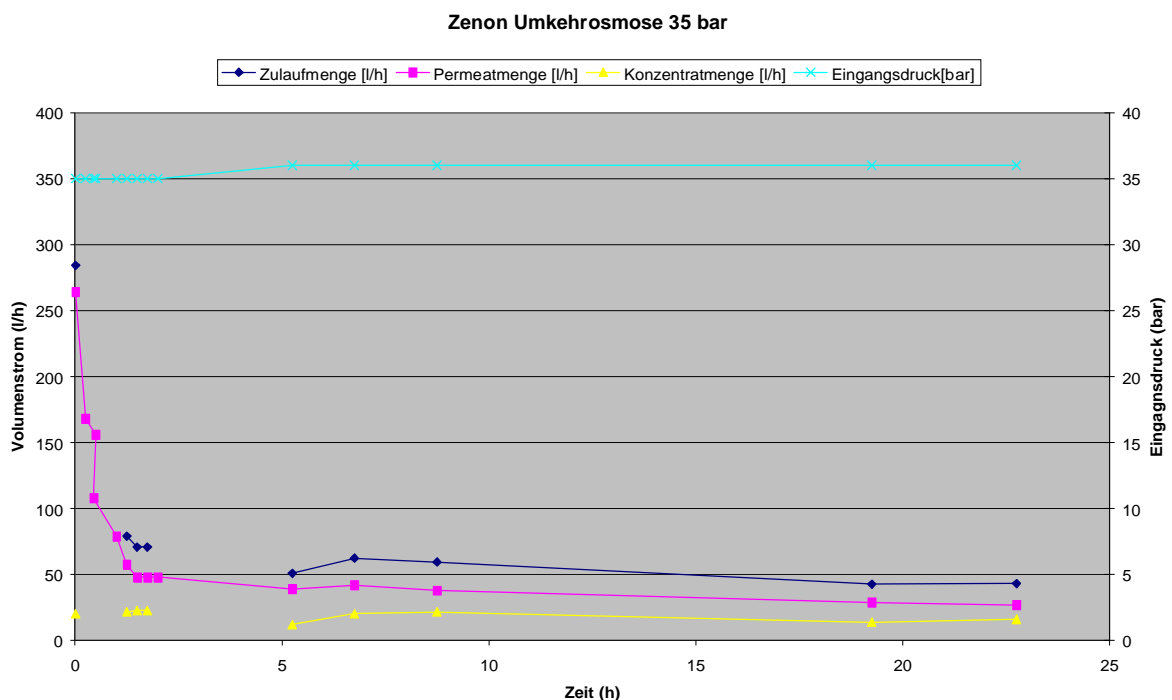


Abbildung 6-24 Zenon Umkehrosmose Volumenströme 35bar, Start 15.1.98, 12.45h

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

In der Abbildung 6-25 sind die Verläufe von Zulauf-, Permeat- und Retentatvolumenstrom sowie der Druckverlauf über der Versuchszeit dargestellt.

Der angestrebte Volumenstrom von >50 l/h war in diesem Versuch bereits nach weniger als zwei Stunden unterschritten. Danach verlangsamte sich der Rückgang des Permeatvolumenstroms, der nach 22 Stunden noch 27 l/h betrug. Bei 23 Stunden wurde der Versuch beendet.

Während sich der Permeatfluss in diesem Versuch mit 13 l/(m²h) ergab, sank die Permeabilität auf 0,38 l/(m² h bar).

An der Leitfähigkeit bemessen, wurde ein Salzurückhalt von 96 % erreicht. Die Messwerte sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

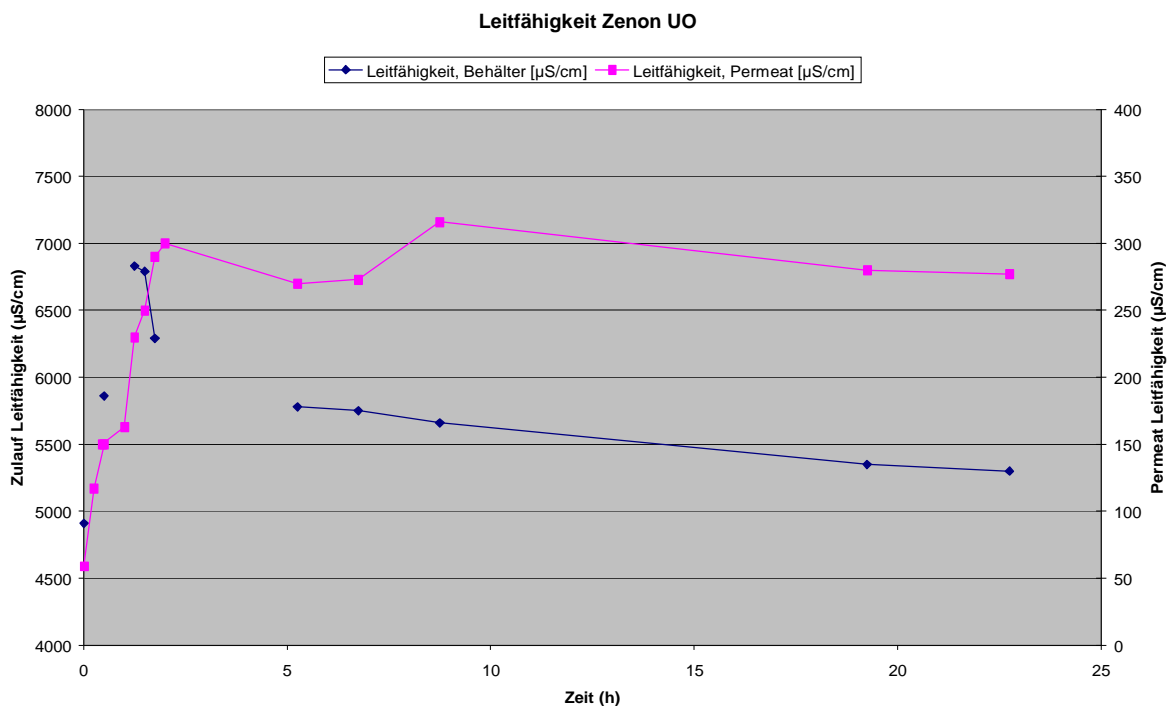


Abbildung 6-25 Zenon Umkehrosiose Leitfähigkeiten bei 35bar

In einer Stichprobenanalyse, deren Ergebnisse in der folgenden Tabelle dargestellt sind, wurde für die meisten untersuchten Inhaltsstoffe eine noch erheblich höhere Eliminationsrate gefunden als anhand der Leitfähigkeit. Lediglich Natrium, das als sehr kleines Ion einen erhöhten Schlupf erwarten ließ und der CSB lagen unter 90 %, wobei beim CSB rechnerisch im Ablauf der Wert der Nachweisgrenze eingesetzt wurde, dementsprechend mit einer höheren Eliminationsrate gerechnet werden darf.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Permeatanalyse - Stichprobe			
	ZenoGem® Permeat (mg/l)	RO-Permeat (mg/l)	Rückhalt %
CSB	66	8	88
Chlorid	72	2,7	96
Nitrat	70,5	4,8	93
Sulfat	64,5	0,7	99
Calcium	74	0,7	99
Magnesium	7,3	0,1	99
Natrium	780	131	83
Mangan	1		100
Eisen	3		100
ph	8,6	9,2	
Härte (°dH)	11,8	0,25	98

Tabelle 6-4 Vergleichsanalyse ausgewählter Inhaltstoffe Zulauf und Permeat Zenon Umkehrosmose (RO)

Die sehr schnell abfallenden Permeatleistungen gingen zurück auf ein Scaling auf den Membranen, das durch eine saure Reinigung leicht wieder zu entfernen war. Wiederholte Versuche zeigten gleiche Verläufe wie die oben beschriebenen.

6.3.1.5 Résumé Zenon MBR und Umkehrosmose

Zusammenfassend lässt sich zum Versuchsbetrieb des Membranbioreaktors festhalten, dass mit über 90 % ein guter bis sehr guter CSB-Abbau erreicht werden konnte, wobei nach der Adaptionsphase keine Überschussschlammproduktion beobachtet wurde.

Die Nitrifikation erfolgte nahezu vollständig, wohingegen die Denitrifikation mit der getesteten Anlage nicht im gewünschten Maße dargestellt werden konnte. Es darf aber unterstellt werden, dass bei geänderter Geometrie auch diese Aufgabe lösbar ist /WABAG 2000/⁸⁶.

Die Phosphat-Elimination erfolgte bereits ohne Zugabe von Fällungsmitteln zu etwa 40 %. Sollte eine weitere Reduzierung erforderlich sein, ist diese mit dem Einsatz von Fällungsmitteln erreichbar.

Die Versuche mit der Umkehrosmose haben gezeigt, dass ein Betrieb ohne gezielte Maßnahmen gegen das Scaling nicht sinnvoll möglich ist. Es ist davon auszugehen, dass die Überströmung der Membran nicht ausreichte. Die Frage nach einem wirksamen Konzept, wie eine ausreichende Permeabilität erreicht werden könnte, ließ der Versuch offen.

Gleichwohl ist hinsichtlich der Qualität des gewonnenen Permeates festzustellen, dass sogar die Erzeugung von Trinkwasserqualität möglich ist.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.3.2 Keramische Ultrafiltration und Umkehrosmose

Mit der Firma MDS Prozesstechnik wurde eine Pilotierung in zwei Phasen geplant und durchgeführt. In der ersten Phase sollte ermittelt werden, ob sich auch nicht biologisch behandeltes Brauerei-Abwasser mittels Kombination aus Ultrafiltration und Umkehrosmose bis zur gewünschten Qualität aufbereiten ließ. In der zweiten Phase sollte die Tauglichkeit für die Behandlung des Abwasserablaufes aus der Behandlungsanlage analog zu den zuvor durchgeführten Testreihen mit einstufigen Anlagen untersucht werden.

Durch Erwärmung des Zulaufs zur Ultrafiltration auf 70°C sollte ermittelt werden, ob das Fouling auf der Ultrafiltrationsmembran durch sich vermehrende Mikroorganismen unterbunden werden kann.

Außerdem sollte eine Verfahrenstechnik und ein Reinigungsverfahren für die Membranen ermittelt werden, dass hinsichtlich Zeitbedarf und Chemikalieneinsatz praktikabel und mit dem die Scaling- und Foulingproblematik beherrschbar ist.

6.3.2.1 Aufbau und Funktion der Anlage

Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau der Pilotanlage, wie sie vom 27.10.2004 bis zum 23.12. 2004 betrieben wurde. Temperatur, Druck vor und nach der Ultrafiltrationsmembran und Volumenstrom des Ultrafiltrats wurden als Messwerte analog erfasst. Die übrigen Daten wurden von den örtlichen Messinstrumenten abgelesen und protokolliert.

Es wurde während dieser Versuchsreihe kein Antiscalant dosiert.

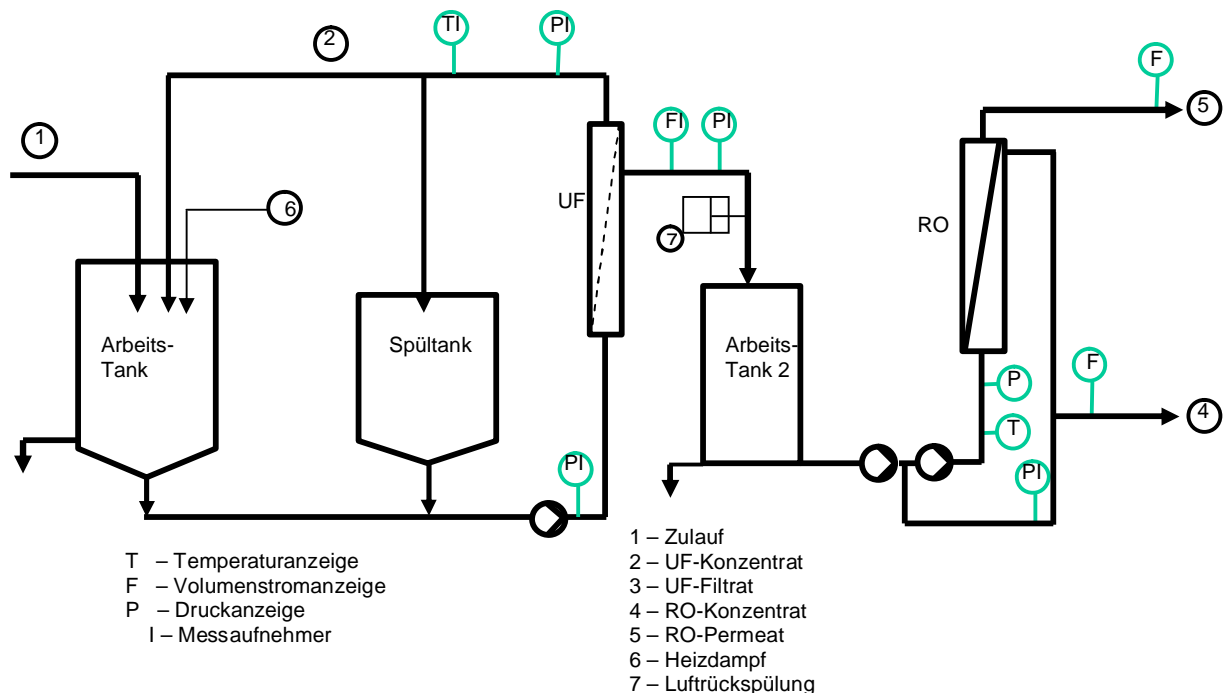


Abbildung 6-26 MDS Keramische Ultrafiltration mit Umkehrosmose /Boettger 2004/⁸⁷

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Steuerung des Zulaufs erfolgte über eine Niveauregelung des Arbeitstanks. Durch die Trennung von Abwasserinhaltsstoffen und Wasser an der Ultrafiltrationsmembran erfolgte eine Konzentration des Rohabwassers im Arbeitsbehälter. Vom Konzentrat wurde während der Filtrationen kontinuierlich eine eingestellte Menge abgeleitet (Feed and Bleed Prinzip). Das Filtrat der Ultrafiltration wurde dem zweiten Arbeitsbehälter für den Betrieb der Umkehrosmose zugeleitet. Die Temperatur der Ultrafiltration war zunächst mittels Heißdampfheizung auf 60 bis 70 °C eingestellt. Später, während der zweiten Versuchsphase, wurde die Beheizung der Ultrafiltration ausgesetzt. Das Ultrafiltrat wurde auf dem Weg in den Arbeitstank 2 über eine Kühlschlange auf < 40°C abgekühlt. Die Einstellung der Volumenströme und der Drücke erfolgte über Strangregulierventile manuell.

Die Aluminiumoxid-Keramikmembran wurde in einstellbaren Zeitintervallen entgegen der Filtrationsrichtung rückgespült. Dazu wurde das Filtrat der Ultrafiltration verwendet, um den Verbrauch von Frischwasser zu minimieren. Mit dieser Verfahrensweise der Rückspülung wurde verhindert, dass die Membranoberfläche vorzeitig von Deckschichten, bestehend aus partikulären Feststoffen, verblockt wurde.

Die Volumenströme (Feed, Filtrat und Permeat) wurden mit Schwebekörperdurchflussmessern angezeigt.

Der Zulaufdruck zur Ultrafiltration betrug 5 bar, während die Umkehrosmose auf einem Druckniveau von 10 bar betrieben wurde.

Die eingesetzte Keramik-Rohrmembran hatte eine nominelle Porenweite von 0,05 µm. Es war eine Fläche von 1,6 m² installiert.

Das in der Umkehrosmose eingesetzte Spiralwickelmodul verfügte über 6 m² Fläche und war für einen maximalen Druck von 40 bar ausgelegt. /Boettger 2005/⁸⁸
Es wurde ebenfalls nach dem Feed and Bleed Prinzip betrieben.

6.3.2.2 Untersuchte Parameter

Untersuchte Parameter keramische Ultrafiltration mit Umkehrosmose			
Abwasserparameter	Kationen	Anionen	Sensorik
CSB	Natrium (Na ⁺)	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Geruch
Leitfähigkeit	Kalium (K ⁺)	Nitrit (NO ₂ ⁻)	Trübung
pH	Calcium (Ca ²⁺)	Phosphat (PO ₄ ³⁻)	Farbe
N-Ges	Magnesium (Mg ²⁺)	Chlorid (Cl ⁻)	
PO ₄ - P		Sulfat (SO ₄ ²⁻)	

Tabelle 6-5 Untersuchte Parameter keramische Ultrafiltration mit Umkehrosmose

Die in der Tabelle 6-5 dargestellten Parameter wurden in Stichproben des Wasserzulaufs, des Filtrates und Permeates untersucht.

Alle Analyseergebnisse sind im Anhang 16.7 aufgeführt.

6.3.2.3 Ergebnisse Phase 1

Während der Phase 1 wurde Abwasser aus dem Pufferbecken der Abwasserreinigungsanlage entnommen und als Zulauf der Ultrafiltration zugeführt. Durch Einleiten von Heizdampf in den Arbeitstank wurde die Temperatur eingestellt. Die folgende Grafik ist dem Betriebsdatenerfassungssystem entnommen.

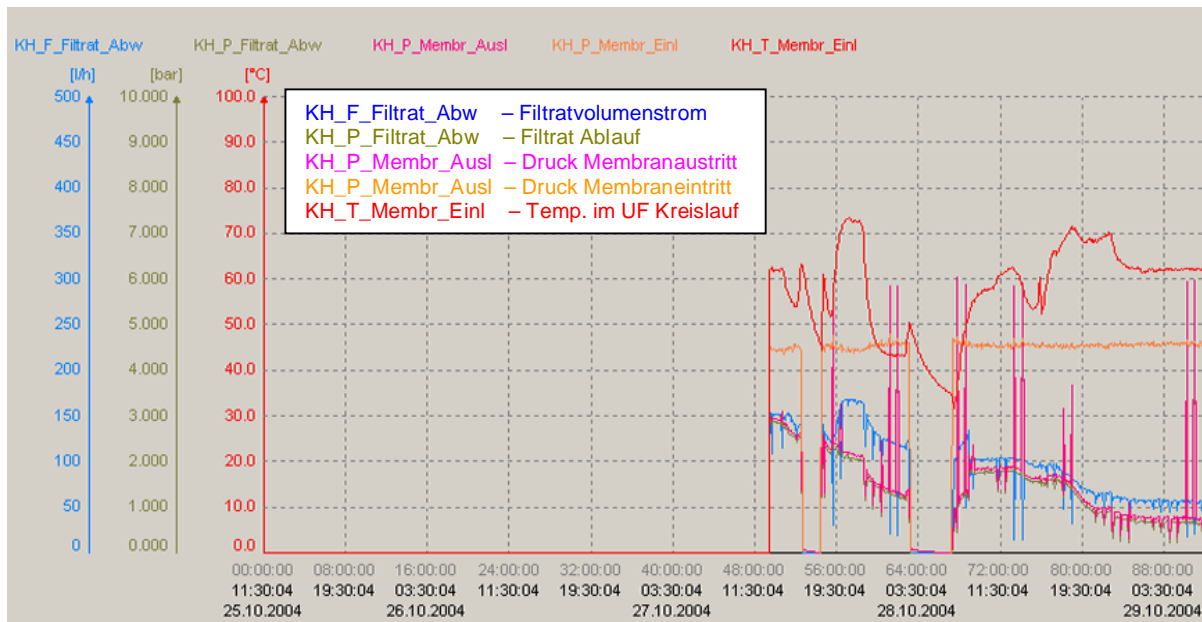


Abbildung 6-27 Betriebsdaten Ultrafiltration Auszug aus Phase 1

Es zeigte sich in der Phase 1 ein sehr rascher Abfall des Filtratvolumenstroms. Innerhalb 40 Stunden fiel der Wert von 165 l/h auf 55 l/h, wobei der transmembrane Druck von 2 bar auf 3,8 bar anstieg. Der Fluss sank von 103 l/m²h auf 33 l/m²h. Die Permeabilität der Ultrafiltration sank im gleichen Zeitraum von 52 l/(m² h bar) auf 9 l/(m² h bar).

In der ersten Phase wurde die Umkehrosmose nur sporadisch betrieben, um Proben für die Analytik zu gewinnen. Eine Aussage über die Entwicklung von Fluss oder Permeabilität konnte daraus in dieser Phase nicht gewonnen werden.

Die Analyseergebnisse des Permeats der Umkehrosmose der ersten Versuchsphase sind in der nachfolgenden Grafik zusammengefasst.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

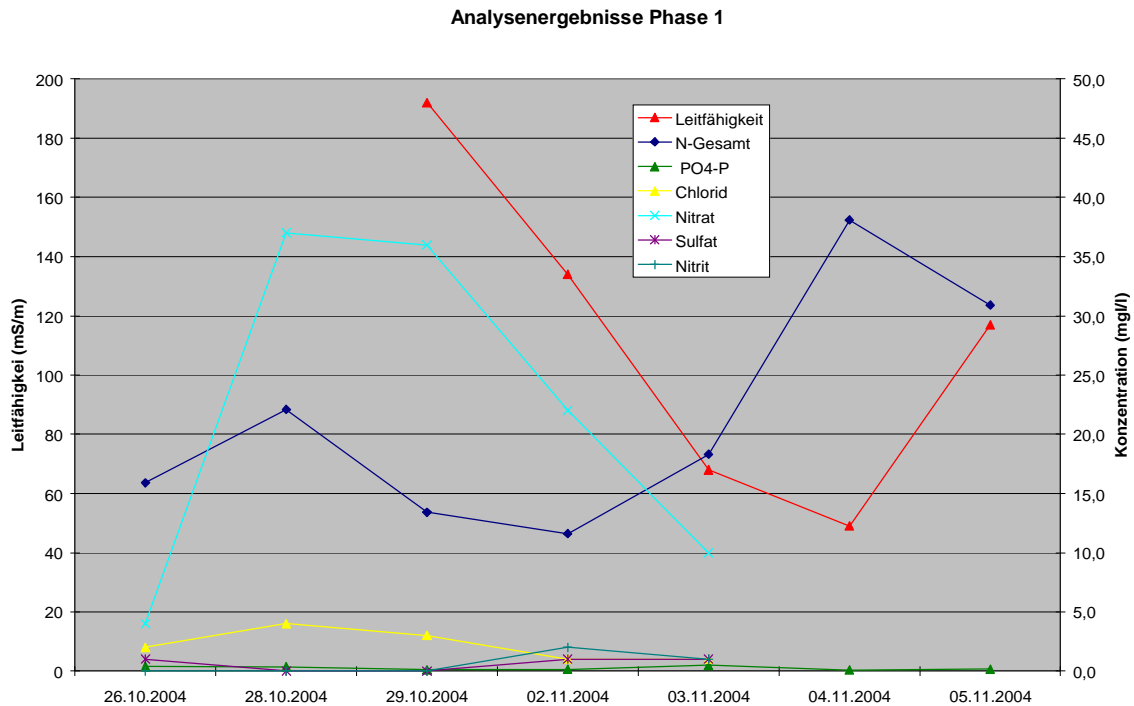


Abbildung 6-28 Analysenergebnisse Phase 1 - Permeat

Der Gesamtstickstoffgehalt liegt in allen Proben so hoch, dass ein Vielfaches des Grenzwertes für Ammonium unterstellt werden musste. Mit Ausnahme des Nitrits, bei dem an je einem Tag 2 mg/l und 1 mg/l festgestellt wurden, unterschritten alle übrigen in obiger Darstellung aufgeführten Analysenergebnisse die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung.

Die folgende Darstellung zeigt die Ergebnisse der pH-Bestimmung und des CSB.

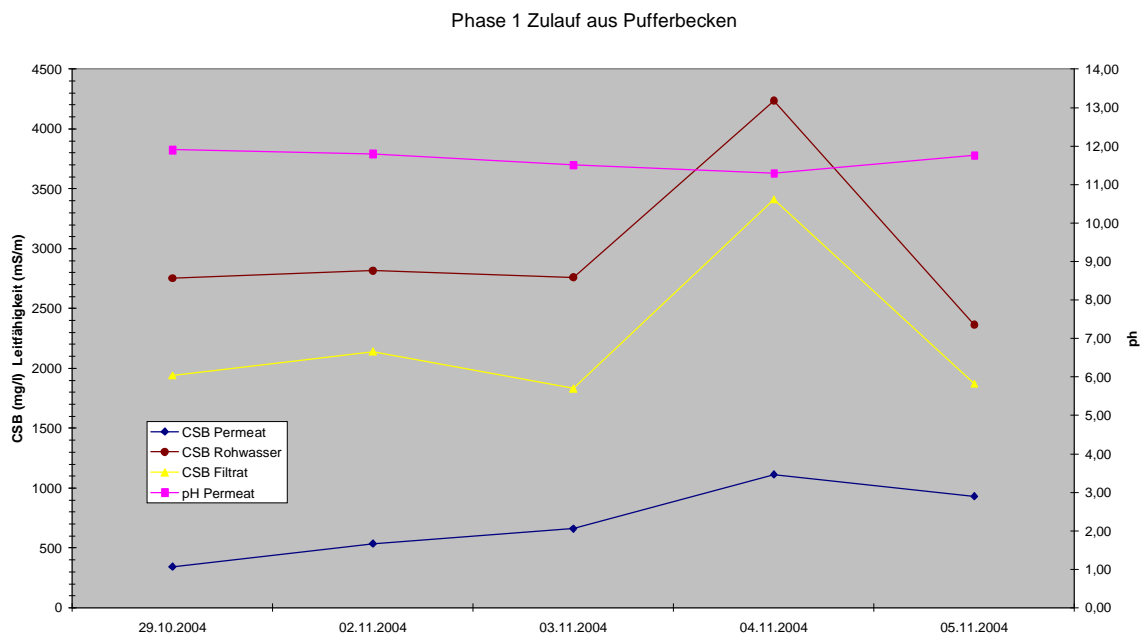


Abbildung 6-29 CSB und pH - Analysenergebnisse Phase 1 - Permeat

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Sowohl pH als auch CSB lagen weit oberhalb der Grenzwerte der Trinkwasser-Verordnung 2001, wobei an Stelle von CSB in der TWVO TOC aufgeführt ist.

Die Betrachtung des Rückhaltes der untersuchten Inhaltstoffe zeigt, dass insbesondere bei den organischen Verbindungen, die mit dem CSB erfasst sind, ein auffällig niedriger Rückhalt ermittelt wurde.

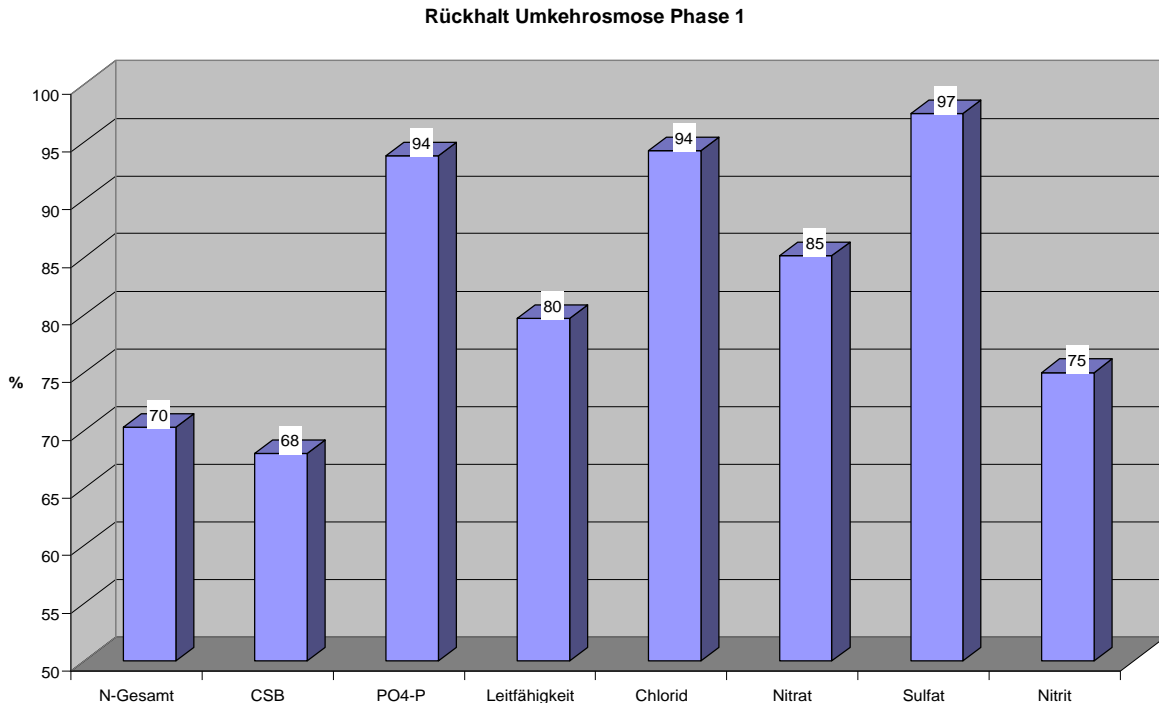
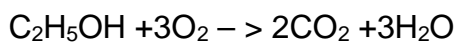


Abbildung 6-30 Rückhalt der Umkehrosmose in Phase 1

Nähere Untersuchung ergab einen Zusammenhang zwischen dem CSB im Permeat und dem Ethanolgehalt im Zulauf zur Ultrafiltration. Es stellte sich weiterhin heraus, dass bei einem CSB von 660 mg/l im Permeat ein Ethanolgehalt von etwa 0,04 % Vol feststellbar war, was stöchiometrisch nach der Reaktion



dem Verhältnis von Ethanol (46 g/Mol) zu Sauerstoff (3*32 g/Mol) bei der vollständigen Oxidation von 1 : 2,08 entspricht.

Andere Untersuchungen bestätigen diesen Befund und den niedrigen Rückhalt von RO-Membranen für Ethanol in einer Größenordnung von nur 40 %. *Walter 2005*⁸⁹

Da im Brauereiabwasser naturgemäß Alkohol aus Produktresten vorkommt, war mit dieser Erkenntnis die Möglichkeit ausgeschlossen, Brauereiabwasser ohne biologische Vorbehandlung mittels verfügbarer Membrantechnik den gesetzten Anforderungen entsprechend aufzubereiten.

Zu den sensorischen Eigenschaften bleibt festzuhalten, dass das Ultrafiltrat stets eine gelbe Farbe aufwies, wobei mit dem Auge keine wahrnehmbare Trübung festzustellen war. Das Permeat war farb-, jedoch nicht geruchlos.

6.3.2.4 Ergebnisse Membranreinigung

6.3.2.4.1 Ultrafiltration:

In der Versuchsphase 1 konnte festgestellt werden, dass bei einer Betriebstemperatur von 50 bis 70 °C der Filtratfluss bei einem Vordruck von 5 bar und einem Filtratdruck von ca. 3 bar stetig von ca. 150 l/h auf 120 l/h zurückging. Dieser experimentelle Befund wurde als Bildung einer Deckschicht auf einer neuen Keramikmembran gewertet. Deshalb wurde die Membran mit einer 5 %-igen alkalischen Reinigerlösung bei ca. 50 °C gereinigt und die Filtration mit dem Klarlauf nach dem Sedimentationsbehälter der biologischen Kläranlage fortgesetzt. Die Filtratleistung der Anlage fiel nach der Reinigung innerhalb von Minuten auf das Leistungsniveau vor der Reinigung zurück und dann auf Leistungen von 50 bis 40 l/h. Deshalb wurde die Anlage erneut gereinigt. Dazu wurde die Membran mit Frischwasser bei 20 °C ausgespült. Bei diesem Vorgang verblockte die Membran innerhalb von Minuten vollständig. Die Filtratleistung der Membran blieb nach dieser Reinigung unverändert bei ca. 20 bis 40 l/h bei einem Transmembrandruck von nahezu 4 bar. Als Grund für diese Filtrationsstörung wurde wegen des hohen Hydrogenkarbonatgehaltes eine Steinbildung auf der Keramikmembran angenommen, die durch die Reinigung mit Stadtwasser noch verstärkt wurde.

Daher wurde die Membran mit einer anorganischen Säure (HCl) gereinigt. Nach ca. 15 Minuten hatte die Membran den Wasserwert von > 220 l/h wieder erreicht. Danach konnte die Anlage mit 150 l/h bei einem Filtratdruck von 3 bar und nach einer weiteren sauren Reinigung sogar mit 200 l/h (vgl. Kap 6.3.2.5) mehr als 14 Tage bis zum Ende des Pilotversuchs erfolgreich ohne Störungen betrieben werden.

6.3.2.4.2 Umkehrosmose:

Die Permeatleistung betrug bei einem Betriebsdruck von 10 bar ca. 6 bis 40 l/h je nach Verunreinigung der Membranoberfläche. Nach der Reinigung der Membran mit konfektioniertem alkalischem Reiniger wurde stets eine Leistung von 30 bis 35 l/h erreicht. Die Umkehrosmoseanlage wurde während der gesamten Dauer des Pilotversuches von 8 Wochen nur 3-mal gereinigt.

Eine Beeinflussung der Permeatleistung durch Steinbildung, der die Ultrafiltrationsmembran blockiert hatte, konnte nicht festgestellt werden. /Böttger 2004/⁹⁰

6.3.2.5 Ergebnisse Phase 2

Während der Phase 2 wurde Abwasser aus dem Klarlauf des Sedimentationstanks der Abwasserreinigungsanlage entnommen und als Zulauf der Ultrafiltration zugeführt. Durch Einleiten von Heizdampf in den Arbeitstank wurde zunächst die Temperatur weiterhin zwischen 60 und 70 °C gehalten. Es sollte damit ein Fouling auf der Membran verhindert werden. Die beiden letzten Testläufe wurden ohne Heizdampf durchgeführt, wobei sich zeigte, dass die Foulingneigung an der

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Ultrafiltrationsmembran von der Temperatur unbeeinflusst war. Die folgende Grafik ist dem Betriebsdatenerfassungssystem entnommen.

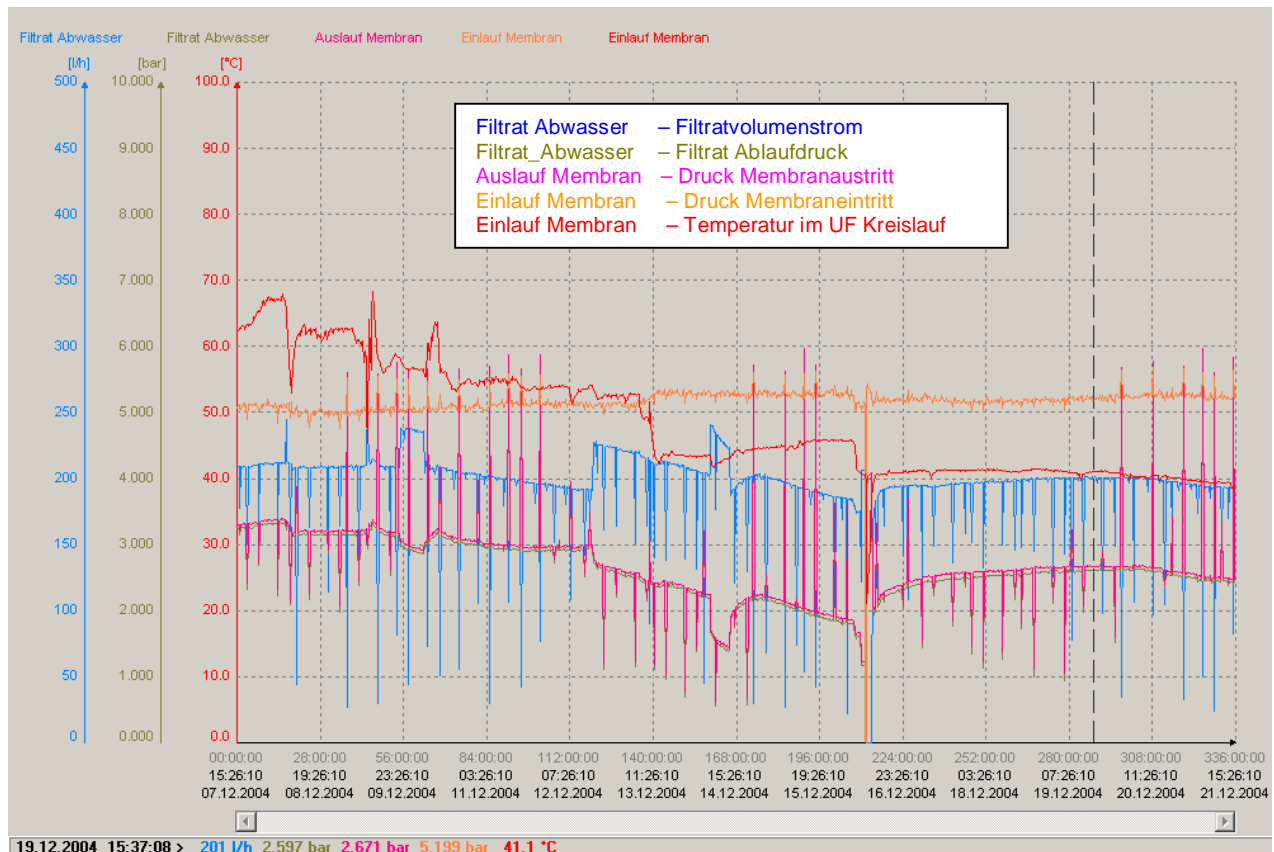


Abbildung 6-31 Betriebsdaten Ultrafiltration Auszug aus Phase 2

Der Auszug aus der Datenaufzeichnung belegt, dass über 14 Tage hinweg der Filtratvolumenstrom bei 200 l/h gehalten werden konnte. Dabei ist ein Einfluss der Temperatur des Mediums im Bereich zwischen 70°C und 40°C nicht feststellbar. Der Fluss betrug in dieser Phase annähernd konstant 125 l/m²h und die Permeabilität der Keramikmembran lag über 50 l/(m² h bar).

Die Umkehrosroseanlage wurde in der Phase 2 einmal gereinigt, wodurch sich 2 Testläufe der Umkehrosrose für diese Phase ergeben. Die Volumenstromverläufe des Permeats der beiden Tests sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Nach der Reinigung in dieser Phase blieb der Volumenstrom über 100 h größer als 15 l/h. Der Zulaufdruck zur Membran war während der gesamten Phase 2 auf 10 bar eingestellt.

Der mittlere Volumenstrom des gesamten 1. Testlaufs betrug 8,7 l/h, in der ersten Testwoche lag er bei 11,1 l/h. Im 2. Testlauf wurde ein mittlerer Volumenstrom von 26,9 l/h erreicht, wobei der Versuch nach 103 h wegen des Endes der Pilotierungszeit abgeschlossen wurde.

Der mittlere Fluss der Umkehrosrose des 2. Testlaufs lag bei 4,5 l/m²h während die Permeabilität bei 0,5 l/(m² h bar) lag.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

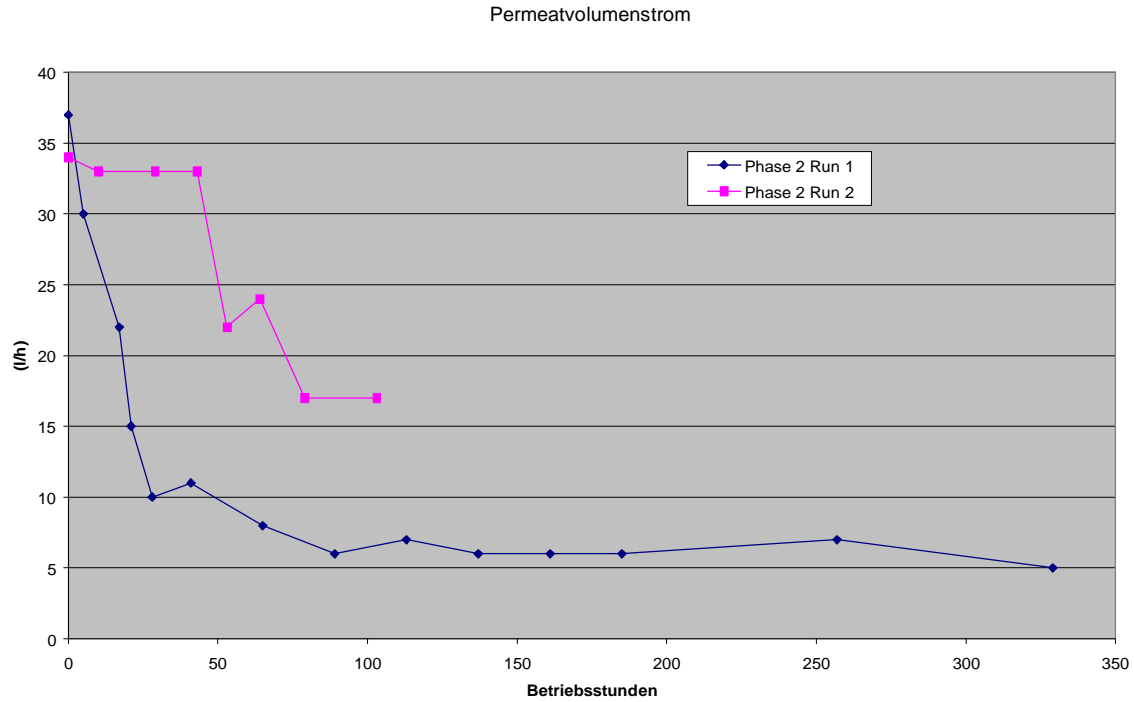


Abbildung 6-32 Phase 2 Permeatvolumenstrom (10 bar)

Die Analyseergebnisse des Permeats sind in der Abbildung 6-34 zusammengefasst.

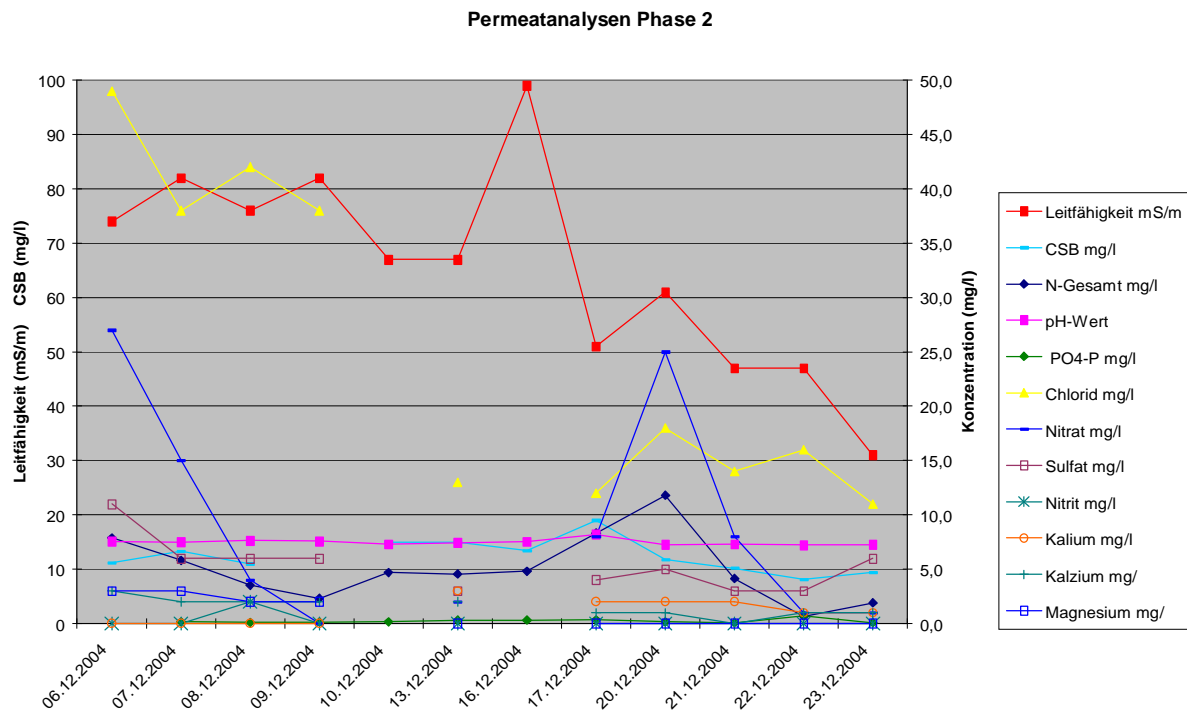


Abbildung 6-33 Permeatanalysen Phase 2

Es lagen alle analysierten Inhaltstoffe mit Ausnahme des Nitritwertes vom 08.12.2004, der 2 mg/l betrug, im Toleranzbereich, den die Trinkwasserverordnung 2001 für Trinkwasser vorschreibt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Für den CSB ist in der folgenden Tabelle die Schwankungsbreite der festgestellten Werte in Rohwasser, Ultrafiltrat und Permeat festgehalten.

CSB Werte Phase 2			
	Mittelwert	Minimum	Maximum
Rohwasser	217	111	310
Ultrafiltrat	107	72	151
Permeat	13	8	19

Tabelle 6-6 CSB –Werte in der Phase 2

Die Abbildung 6-34 zeigt den Rückhalt für die untersuchten Inhaltstoffe, berechnet aus den Mittelwerten der Tagesanalysen. Im Mittel über alle Inhaltstoffe betrug der Rückhalt 87%.

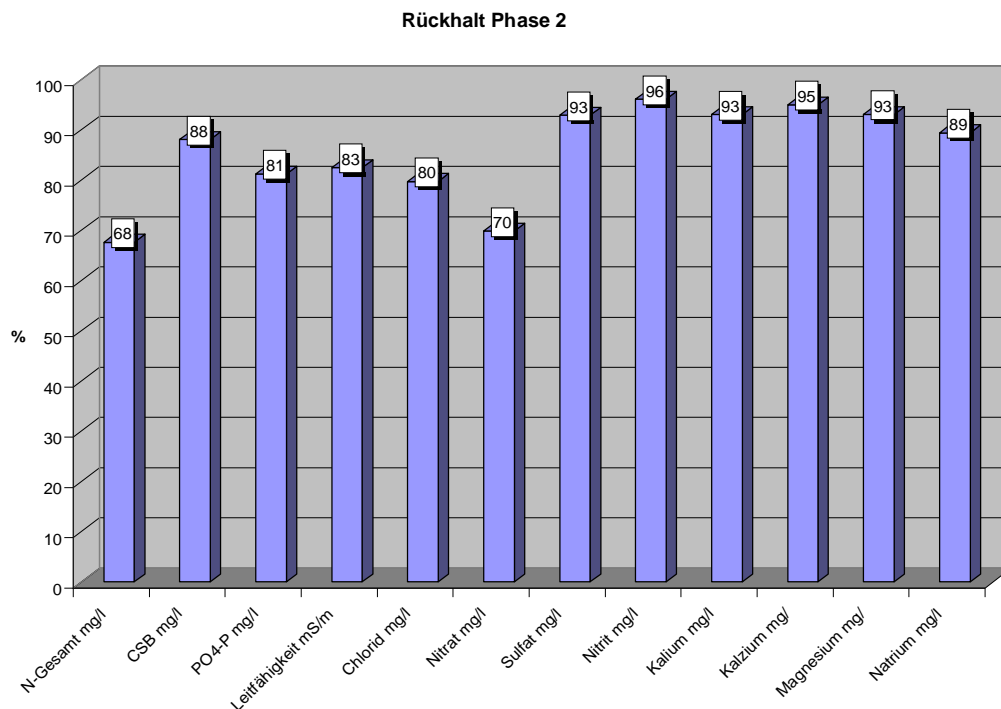


Abbildung 6-34 Rückhalt Umkehrosiose Phase 2

Auf das Natrium und in Verbindung damit das Hydrogenkarbonat soll im Folgenden noch detaillierter eingegangen werden:

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

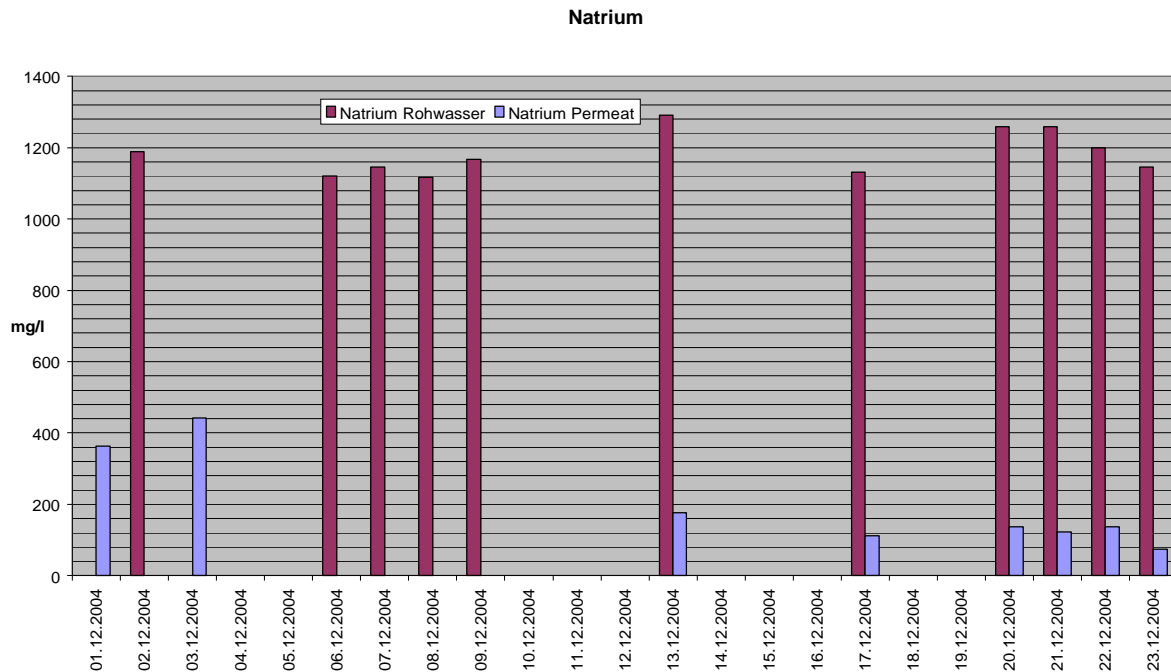


Abbildung 6-35 Natrium im Rohwasser und im Permeat

Die verwendete Ionenchromatographie ließ die Auswertung des Natriums nicht an allen Tagen zu, da der Bereich für die quantitative Erfassung häufig nach oben überschritten war. Dennoch wird sehr deutlich, dass von allen Inhaltstoffen Natrium mit dem bei weitem größten Massenanteil bestimmt wurde. Weiterhin ist festzustellen, dass das Verhältnis der Ladungen zwischen Kationen und Anionen bei den quantitativ erfassten Inhaltstoffen nicht ausgeglichen war.

Da aus der Gärung bei der Bierherstellung und der Abwasserbiologie größere Mengen CO_2 in das Abwasser gelangen können und das Hauptreinigungsmittel gegen organische Beläge in der Brauerei NaOH ist, lag die Vermutung nahe, dass das Anionendefizit in der Bilanz von Hydrogenkarbonat ausgefüllt wird. HCO_3^- Ionen konnten jedoch mit der Ionenchromatographie nicht bestimmt werden. Andere Bestimmungen ergaben Werte von über 3000 mg/l, womit die Ladungsbilanz im Rahmen der Messgenauigkeit als ausgeglichen zu betrachten ist.

Das Abwasser aus dem Pufferbecken war intensiv braun und das aus dem Sedimentationsbehälter hellbraun bis gelb gefärbt. Während das Abwasser aus dem Pufferbecken stark trübe war, ließ das Wasser aus dem Sedimentationsbehälter eine augenscheinlich schwächere Trübung erkennen. Beide Abwasserarten wurden nach Erwärmung oberhalb von 50 °C dunkelbraun und es konnten oberhalb von 50 °C Ausfällungen festgestellt werden. Nach der Aufbereitung mit der Ultrafiltration war das Filtrat stets leicht gelb gefärbt und ohne erkennbare Trübung. Nach der Umkehrosmose war das Permeat farblos und wasserklar, hatte jedoch während der Betriebsweise mit erhöhter Temperatur einen starken, bei niedrigerer Temperatur einen mäßigen muffigen Geruch.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.3.2.6 Resümee

Mit keramischer Ultrafiltration und Umkehrosmose konnte das Brauereiabwasser ohne biologische Vorbehandlung nicht bis zur geforderten Qualität aufbereitet werden. Dafür war vor allem der Ethanolgehalt aber auch die Stickstoffverbindungen verantwortlich, die im Brauereiabwasser vorhanden waren und stets zu erwarten sind.

Biologisch behandeltes Abwasser konnte mit keramischer Ultrafiltration und Umkehrosmose soweit aufbereitet werden, dass die Grenzwerte der untersuchten Parameter, die in der Trinkwasserverordnung 2001 aufgeführt sind, unterschritten werden konnten.

Fluss und Permeabilität der Ultrafiltration konnten mit geeigneter Reinigung auf hohem Niveau stabil im Bereich von 125 l/m²h bzw. 50 l/(m² h bar) über 14 Tage hinweg gehalten werden.

Die Umkehrosmose lag mit einem Fluss von 4,5 l/m²h und einer Permeabilität von 0,5 l/(m² h bar) unter den erhofften Werten, ließ sich aber über bis zu 14 Tage stabil betreiben.

Das Reinigungsverfahren der Umkehrosmose konnte in dieser Pilotierung noch nicht abschließend optimiert werden. Auch die Frage nach dem Einsatz von Antiscalant blieb als Optimierungsansatz in dieser Pilotierung unbeantwortet und somit Gegenstand der weiteren Untersuchungen.

6.3.3 Ultrafiltration mit getauchten Polymermembranen und rechnergestützter Auslegung der Umkehrosmose

Die Ergebnisse mit der keramischen Ultrafiltration (vgl. Kapitel 6.3.2) waren so vielversprechend, dass auch andere Membrantechnologien für die 2-stufige Arbeitsweise Ultrafiltration mit Umkehrosmose für die Abwasseraufbereitung in Betracht gezogen wurden.

Mit der Firma Koch Membrane Systems wurde daher ein weiterer Pilotversuch unternommen, mit dem ermittelt werden sollte, ob auch getauchte Puron®-Polymermembranen /Koch 2005/91 zur Vorbehandlung des Brauereiabwassers für eine weitergehende Aufbereitung mittels Umkehrosmoseanlage einsetzbar sind.

6.3.3.1 Aufbau und Funktion der Pilotanlage

Für die Versuche stand eine Containerpilotanlage der Firma Koch-Membrane-Systems zur Verfügung, die auch als Membran-Bio-Reaktor eingesetzt werden kann. Diese Anlage war deshalb mit erheblich umfangreicherem Equipment ausgerüstet als dies für die vorgesehene Pilotierung erforderlich gewesen wäre. Es waren 30 m² Membranfläche installiert. Das folgende Fließbild stellt nur die Anlagenteile dar, die tatsächlich eingesetzt wurden.

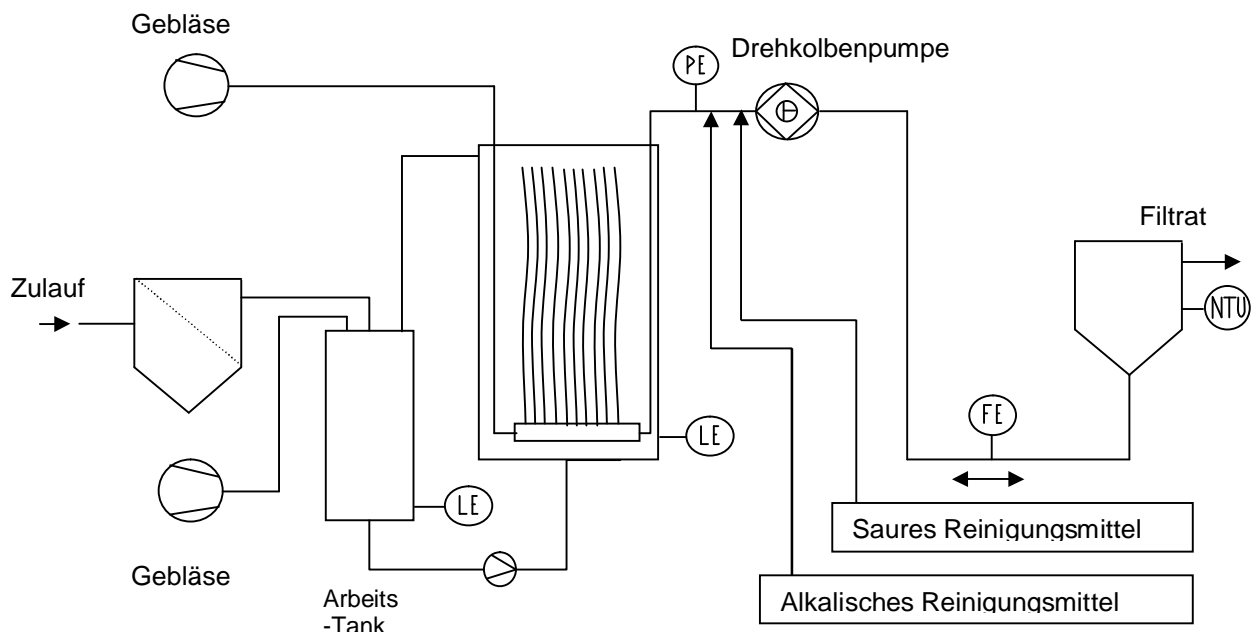


Abbildung 6-36 Puron®-Ultrafiltration 2006 Fließbild⁹²

Der Anlagenzulauf erfolgte niveaugesteuert über ein Vorfilter mit 1mm Maschenweite aus dem Sedimentationstank der Abwasseranlage in den Arbeitstank. Vom Arbeitstank wurde die Membrankammer mittels Pumpe mit einem Volumenstrom von 1400 l/h beschickt, wobei der Überschuss in den Arbeitstank zurückströmte. Eine Drehkolbenpumpe saugte das Filtrat durch die Membranen mit 0,1-0,2 µm

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Porenweite /Koch 2005⁹³, die intermittierend mit Luft umspült wurden. Das Verhältnis zwischen Belüftungszeit und Pausenzeit wurde zwischen 1:1 und 1:2 variiert. Die Belüftungszeit wurde dabei mit 10 s konstant gehalten. Nach 10 -17 Minuten Filtrationszeit erfolgte ein Backflash mit Filtrat durch Drehrichtungsumkehr der Drehkolbenpumpe, wobei ein Volumenstrom von 1200 l/h eingestellt war. Es wurde 1/7 des erzeugten Filtrats zum Rückspülen eingesetzt.

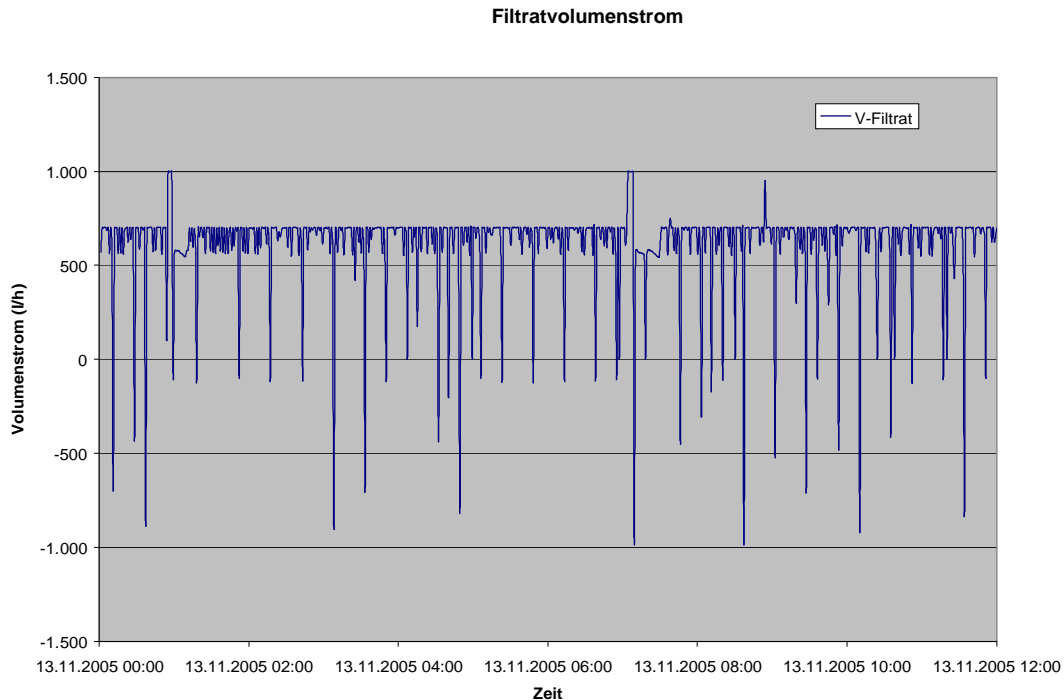


Abbildung 6-37 Filtratvolumenstrom Puron®-Ultrafiltration

Die obige Abbildung zeigt den Filtratvolumenstrom, dessen Peaks in den negativen Bereich die Rückspülungen dokumentieren. Die unterschiedliche Peakgröße in der Darstellung resultiert aus dem Zeittakt der Datenaufzeichnung von einem Messwert pro Minute.

Der Arbeitstank wurde kontinuierlich belüftet, wobei ein Sauerstoffgehalt von 7,4 mg/l im Mittel eingehalten wurde.

Der Filtratvolumenstrom, der Saugdruck der Drehkolbenpumpe, die Trübung des Filtrats und die Füllstände des Arbeitstanks und der Membrankammer wurden kontinuierlich online gemessen und aufgezeichnet.

6.3.3.2 Untersuchte Parameter

Neben den automatisch aufgezeichneten Messdaten wurde die Trübung des zulaufenden Abwassers täglich durch Probenahme und Messung mit der online Messeinrichtung für das Filtrat ermittelt.

Von täglichen Stichproben des Rohwassers und des Filtrates wurden die folgenden Parameter bestimmt:

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Untersuchte Parameter Ultrafiltration mit getauchten Polymermembranen			
Abwasserparameter	Kationen	Anionen	Sensorik
CSB	Natrium (Na ⁺)	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Geruch
Leitfähigkeit	Kalium (K ⁺)	Nitrit (NO ₂ ⁻)	Farbe
pH	Calcium (Ca ²⁺)	Phosphat (PO ₄ ³⁻)	
N-Ges	Magnesium (Mg ²⁺)	Chlorid (Cl ⁻)	
PO ₄ - P		Sulfat (SO ₄ ²⁻)	
Trübung			

Tabelle 6-7 Untersuchte Parameter Ultrafiltration mit getauchten Polymermembranen

Die Analyseergebnisse im Einzelnen sind im Anhang Kapitel 17.9 aufgeführt.

6.3.3.3 Ergebnisse Produktionsversuche

In einer ersten Versuchsphase wurde der Fluss der Membran von 23 l/m²h bis auf 33 l/m²h in kleinen Schritten gesteigert, um dabei die Permeabilität zu beobachten. In einer zweiten Phase wurde der Fluss auf 45 l/m²h gesteigert, wobei der maximal mögliche Fluss und die Reversierbarkeit einer „gewaltsam“ herbeigeführten Membranverblockung ermittelt wurde.

Während der gesamten Versuchszeit wurde keine Vermehrung von Mikroorganismen im Arbeitstank festgestellt. Als Maßstab zur Beurteilung diente dabei die Beobachtung der für den Betrieb als MBR eingebauten TS-Messung.

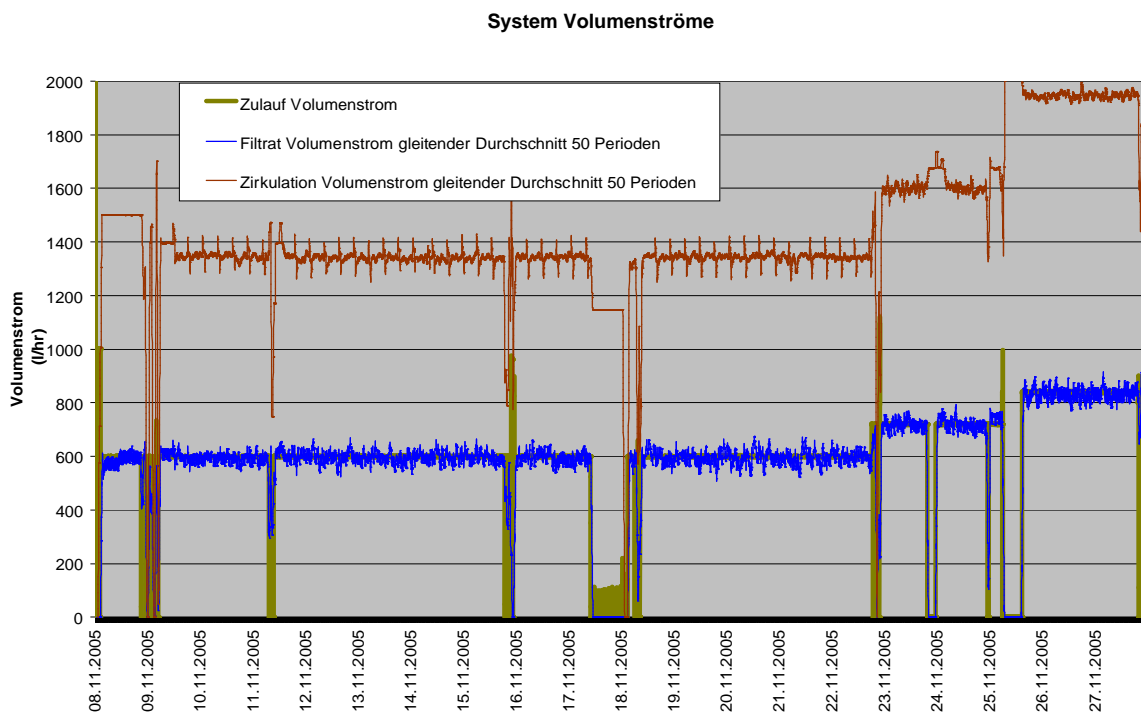


Abbildung 6-38 Systemvolumenströme Versuchsphase 1

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die obige Abbildung verdeutlicht, dass über 15 Versuchstage mit einem Filtratvolumenstrom von 600 l/h gearbeitet wurde, bevor der Fluss in Stufen erhöht wurde. Am 17.11., 23.11. und 25.11. kam es zu kurzen Unterbrechungen durch technische Defekte bzw. Wartungsmaßnahmen.

Aus dem Verlauf der mit Zirkulation bezeichneten Aufzeichnung geht hervor, dass mit dem Fluss auch die Überströmung der Membran angehoben wurde.

In der folgenden Abbildung sind der Fluss und der Transmembrandruck für den gleichen Zeitraum dargestellt.

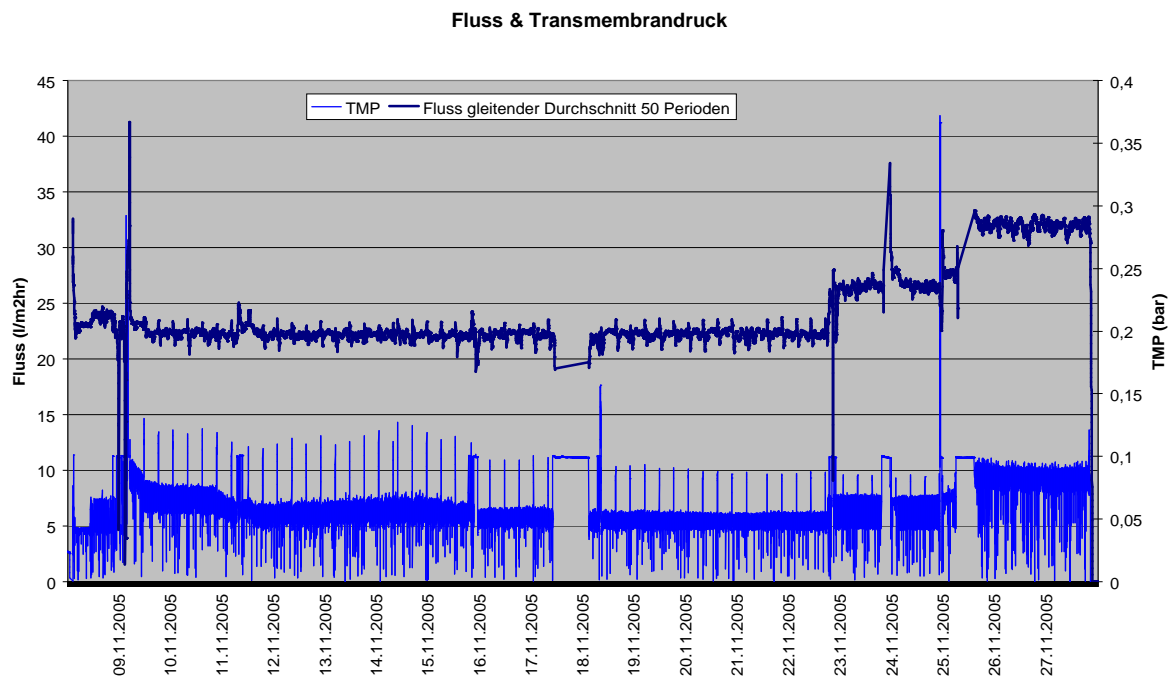


Abbildung 6-39 Fluss und Transmembrandruck Versuchsphase 1

Bei allen drei eingestellten Flüssen stellte sich der Transmembrandruck auf einem konstanten Niveau ein. Zwischen dem 8.11. und 16.11. wurden Luftspülungs- und Rückspülintervall eingestellt und optimiert, wodurch sich der zunächst noch nicht konstant verlaufende Transmembrandruck erklärt. Die Amplituden der aufgezeichneten Werte resultieren aus den Rückspülungen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Fluss, die Prozesstemperatur und die Permeabilität bei der Prozesstemperatur.

Die Permeabilität stellte sich wie der Transmembrandruck, dem jeweiligen Fluss entsprechend, auf konstantem Niveau ein.

Veränderungen der Temperatur unter 30°C traten nur während der Unterbrechungen auf, während im Übrigen die Temperatur zwischen 30°C und 33°C quasi konstant blieb.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

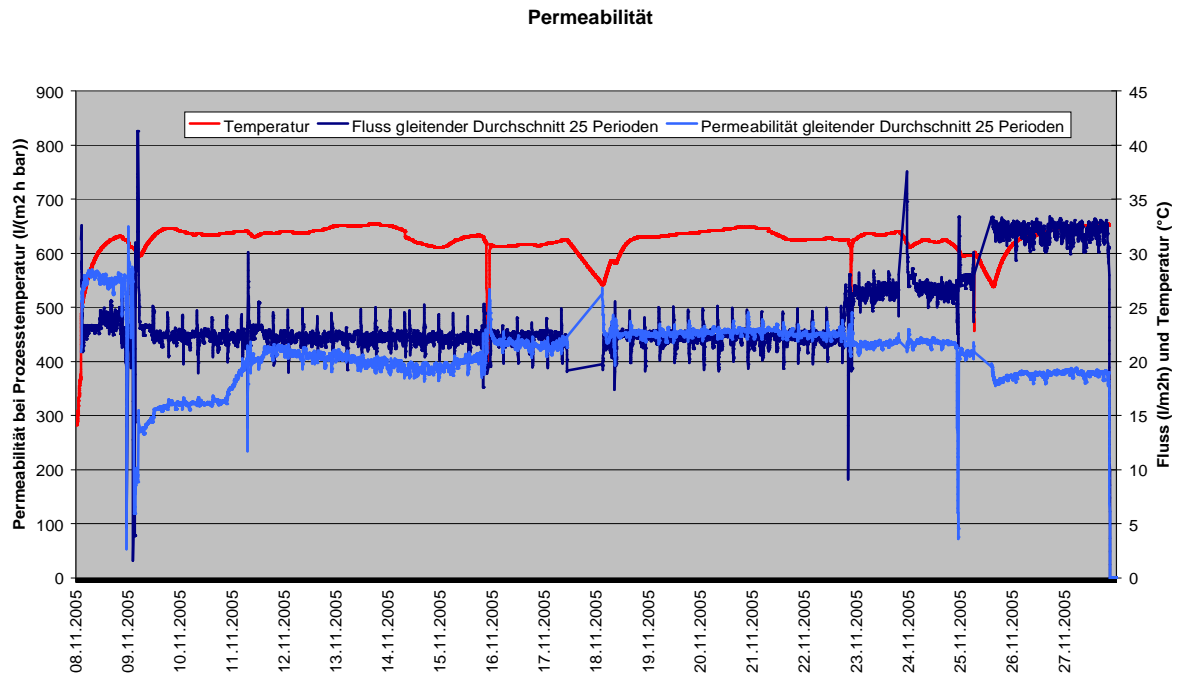


Abbildung 6-40 Permeabilität, Fluss und Temperatur Versuchsphase 1

Die Trübungsmessung lieferte aufgrund eines technischen Defekts erst ab dem 16.11. Daten, die aufgezeichnet werden konnten. Die Abbildung unten zeigt den Verlauf der aufgezeichneten Daten, wobei die Peaks manuell eingespeiste Proben des Zulaufs dokumentieren.

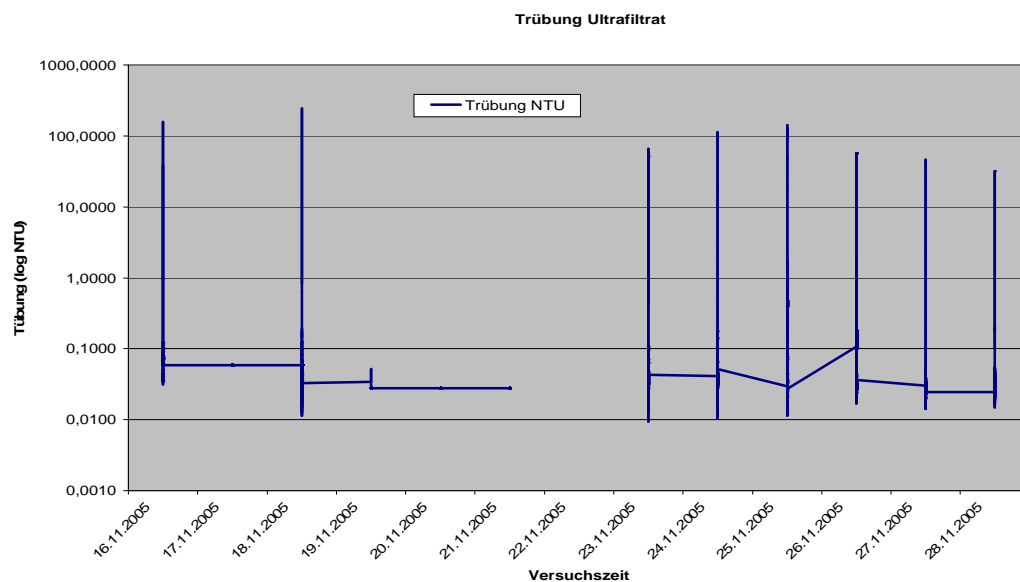


Abbildung 6-41 Trübung Versuchsphase 1

Die Trübungsmessung zeigte aufgrund der Messbedingungen (Bypass-Messung mit niedriger Strömungsgeschwindigkeit) eine Tendenz zur Belagbildung, wodurch die Messwerte nicht frei von Verfälschung aufgezeichnet werden konnten. Das Filtrat wies aber stets eine Trübung <0,1 NTU auf, was mit dem sensorischen Befund „keine erkennbare Trübung“ korrespondiert. Der Mittelwert der Tageswerte der

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Trübung des Rohwassers lag bei 51 NTU. Das entspricht einer Verringerung der Trübung um 99,8%.

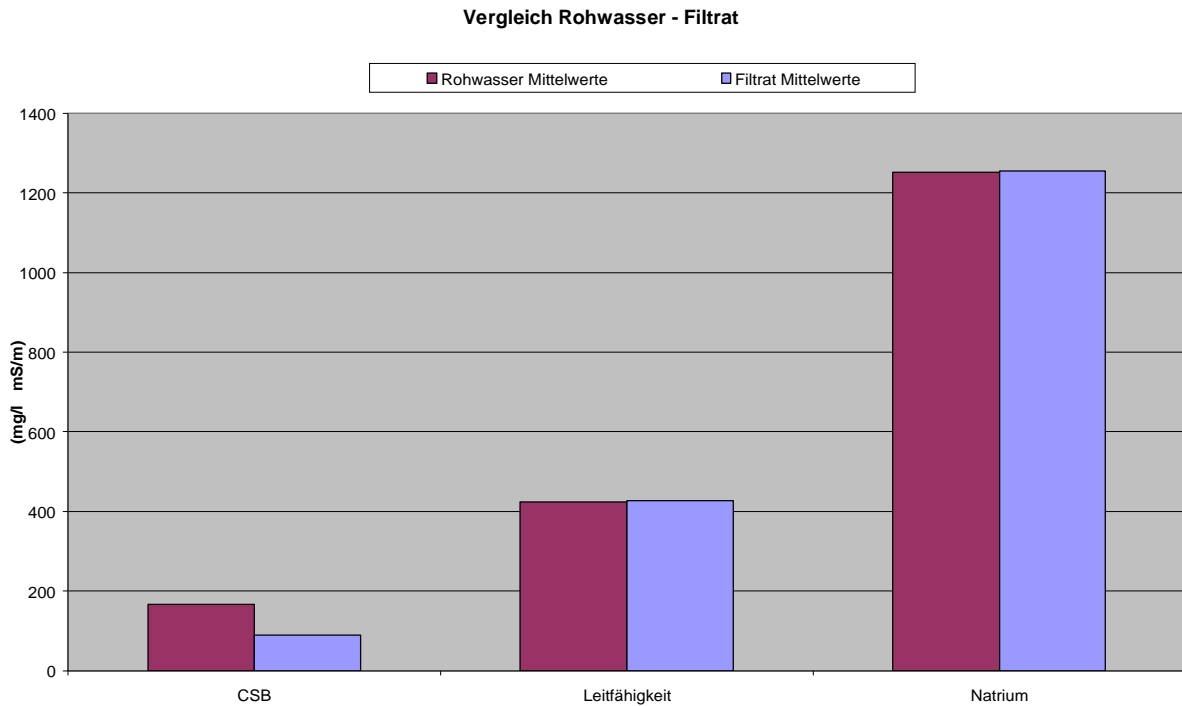


Abbildung 6-42 CSB, Leitfähigkeit und Natrium Mittelwerte Phase 1

Die Leitfähigkeit und die Natriumkonzentration wurden durch die Ultrafiltration nicht beeinflusst. Dagegen zeigte der CSB eine deutliche Abnahme von im Mittel 54%. Während der CSB im Rohwasser bei einer mittleren Abweichung von +/- 31 mg/l erheblichen Schwankungen unterlag blieb er im Filtrat im Rahmen der Messgenauigkeit annähernd konstant.

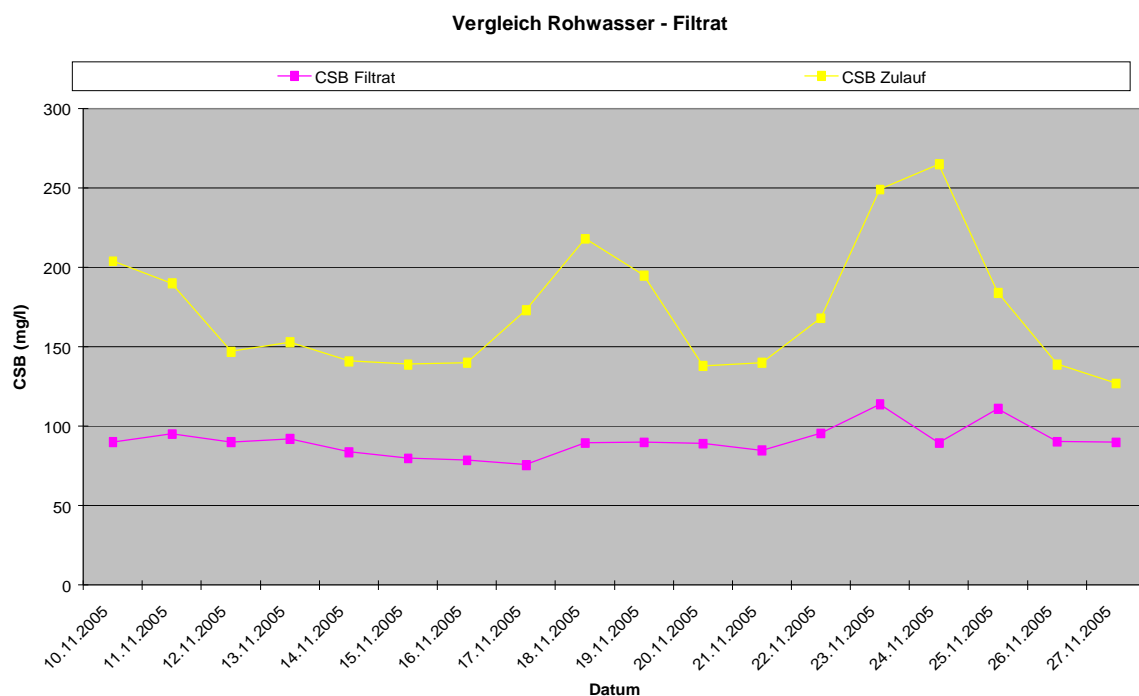


Abbildung 6-43 CSB Verlauf Phase 1

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Hieran wird ersichtlich, dass ein hoher Anteil des gemessenen CSB im Rohwasser durch Mikroorganismen verursacht ist, die in der Sedimentation der Abwasseranlage nicht, wohl aber mit der Ultrafiltration abgeschieden werden konnten.

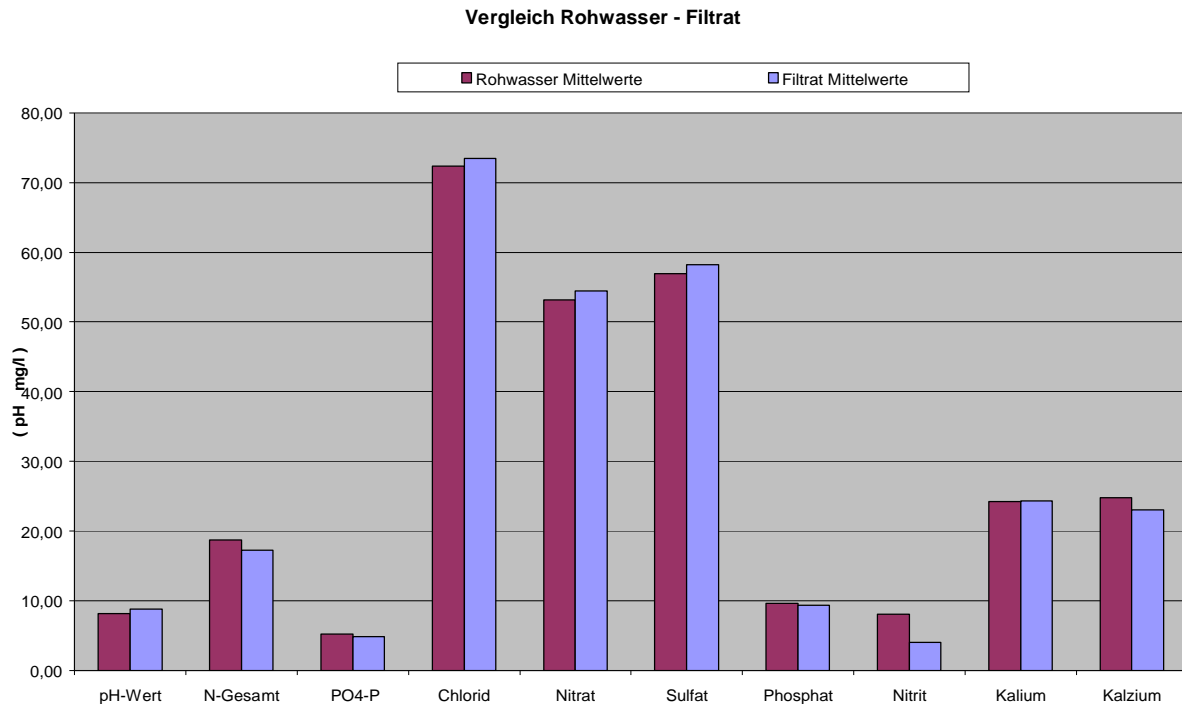


Abbildung 6-44 pH, Gesamtstickstoff und Ionenanalytik Phase 1

Die meisten analysierten Ionen zeigten erwartungsgemäß keine signifikante Veränderung durch die Ultrafiltration, wie die obige Abbildung zeigt. Beim Nitrit scheint eine Reduzierung vorzuliegen, die möglicherweise mit der Entfernung der Mikroorganismen im Zusammenhang steht.

Der Gesamtstickstoff zeigte ebenfalls eine geringe Abnahme, wohingegen der pH im Mittel von 8,1 auf 8,8 anstieg, was ebenfalls durch die Entfernung der Mikroorganismen begründet sein kann.

Die Farbe des Filtrates war hellgelb bis hellocker.

Der Geruch war schwach abwassertypisch.

In der zweiten Versuchsphase wurde der Fluss auf 45 l/m²h erhöht, um die Auswirkungen auf den Prozess zu erproben.

Während analytisch keine Unterschiede zu den Ergebnissen der Phase 1 festgestellt wurden, zeigte sich eine rapide Abnahme der Permeabilität der Membran nach der Erhöhung des Flusses. Allerdings war das Ausgangsniveau der Permeabilität bereits zu Beginn der Phase 2 auf rund 270 l/(m²*h*bar) durch Störungen der Sedimentation sowie stillstandbedingt gesunken.

Die folgende Abbildung stellt den Umstellzeitraum dar.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

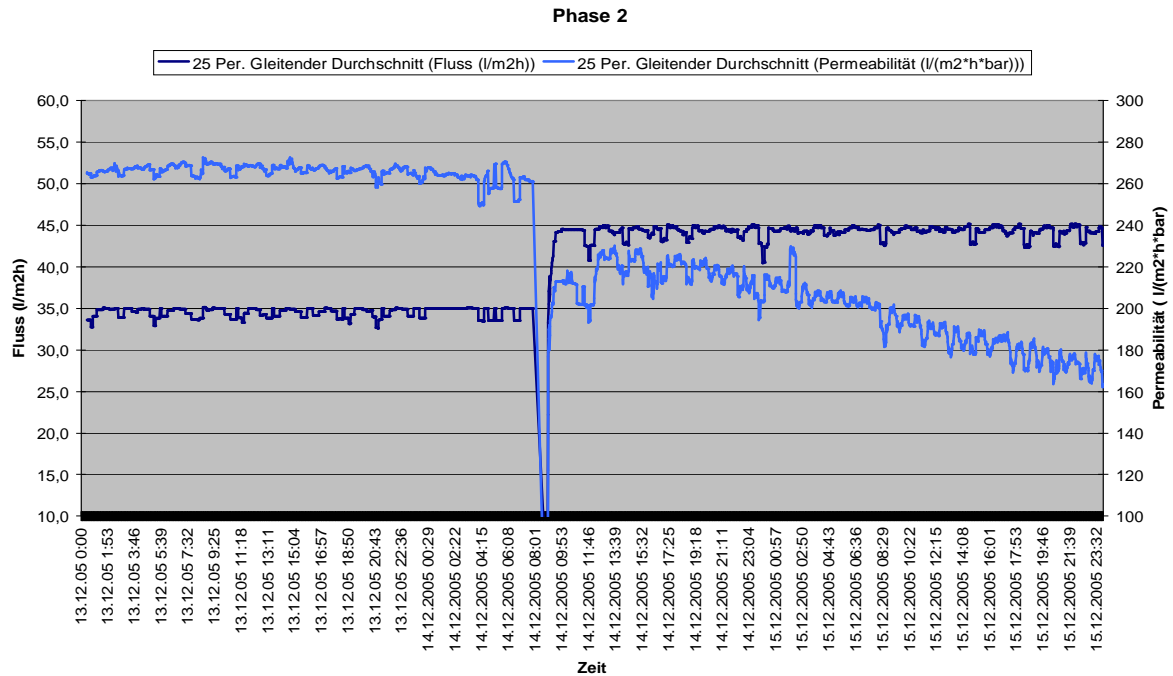


Abbildung 6-45 Permeabilität und Fluss Versuchsphase 2 - Überlastungsversuch

Es konnte somit festgestellt werden, dass unter den gegebenen Bedingungen mit einem Fluss der Puron®- Ultrafiltrationsmembran von 30 l/m²h sicher ausgelegt werden kann, wobei von Reinigungsintervallen für die chemische Reinigung von > 1 Monat ausgegangen werden darf.

6.3.3.4 Ergebnisse Reinigung

Nachdem die Anlage mit reduziertem Fluss für weitere drei Wochen betrieben worden war, wurde am 04.01.2006 eine chemische Reinigung der Membran durchgeführt.

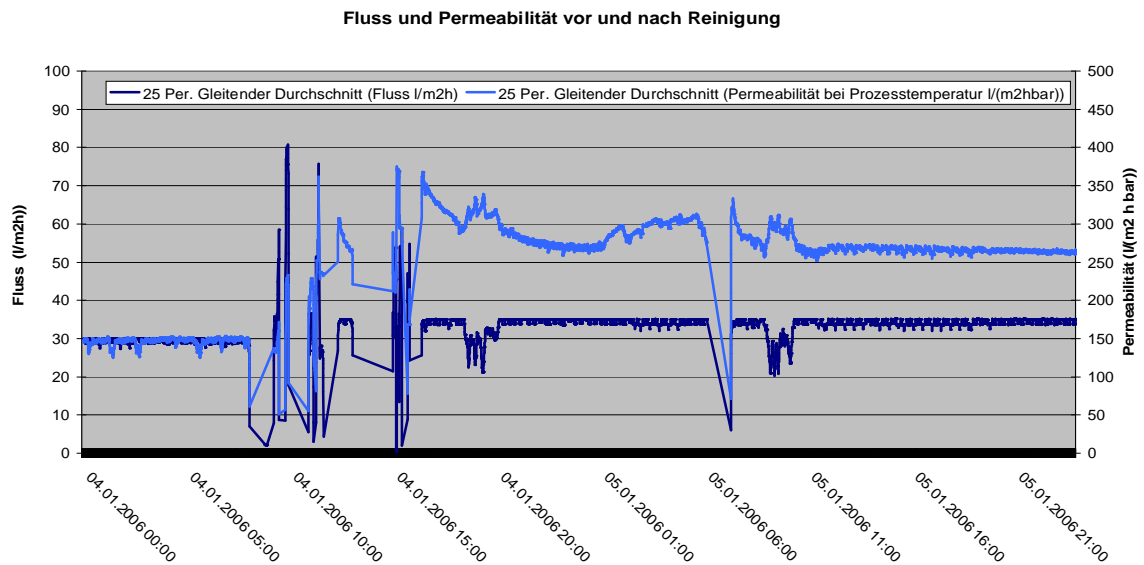


Abbildung 6-46 Fluss und Permeabilität vor und nach Reinigung der Puron®-Membran

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Reinigung wurde in zwei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt wurde oxidativ, im zweiten Schritt sauer gereinigt. Die Permeabilität konnte damit wieder auf das Niveau gebracht werden, das vor dem Extremversuch mit einem Fluss von 45 l/m²h vorlag.

Der gemessene Energieverbrauch der Pilotanlage lag bei 3 kWh/m³ Filtrat. Da die Anlage als MBR-Pilotanlage ausgestattet war, womit eine erhebliche Mehrausstattung, die auch elektrische Energie verbrauchte, verbunden war, kann dieser Stromverbrauch nicht als Hochrechnungsgrundlage herangezogen werden. Für die Ultrafiltration werden für die Produktionsanlage 0,55 kWh/m³ Filtrat aufgrund der zu installierenden Leistung veranschlagt.

6.3.3.5 Auslegung Umkehrosmose

Auf Basis der unten dargestellten Analyse des Ultrafiltrats wurde die Umkehrosmoseanlage ausgelegt.

ABWASSERANALYSEN			
Probedatum: Januar 2006			
	Abwasser aus Seditank	Ultrafiltrat	Einheit
Gesamthärte	8,4	6,9	°dH
Magnesiumhärte	1,3	0,97	°dH
Leitfähigkeit (25°C)	4440	4170	µS/cm
Säurekapazität, pH 8,3	0	0	mval/l
Säurekapazität, pH 4,3	51	51	mval/l
Aluminium, gesamt	2	0,9	mg/l
Ammonium, freies und gebunden	13	5	mg/l
Blei, gesamt	< 0,5	< 0,05	mg/l
Calcium, gesamt	51	42	mg/l
Chlorid	75	72	mg/l
CSB	216	124	mg/l
Eisen, gesamt	< 0,5	0,2	mg/l
Fluorid	< 1	< 1	mg/l
Hydrogencarbonat	3360	3360	mg/l
Kalium	23	18,1	mg/l
Kupfer, gesamt	< 0,5	< 0,5	mg/l
Mangan, gesamt	< 0,1	< 0,1	mg/l
Natrium	1250	1250	mg/l
Nitrat	41	45	mg/l
Org. C, nicht stripbar	48	39	mg/l
Phosphat	19,3	13,6	mg/l
Quecksilber, gesamt	< 50	< 50	µg/l
Schwefel, gesamt als SO ₄	97	77	mg/l
Silikat, gesamt als SiO ₂	10	4,8	mg/l
Strontium, gesamt	0,36	0,28	mg/l
Trübung	23	0,1	NTU

Tabelle 6-8 Analysen-Auslegungsdaten Abwasser und Ultrafiltrat

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Zur Anlagenauslegung wurde u. a. das Tool ROPRO Ver. 7.0 der Fa Koch Membrane Systems eingesetzt.

Die Umkehrosmose ist im Single-Pass-Verfahren konzipiert und soll zyklisch mit Permeat gespült werden. Es sind 8 Module vom Typ TFC 8832 HR-575 mit einer Gesamtfläche von 427 m² zu installieren.⁹⁴ Damit ist ein Designfluss von 19,9 l/m²h zu Grunde gelegt, der mit einem Eingangsdruck von 14,4 bar erreicht werden soll. Die Ausbeute ist mit 58 % angesetzt.

Der für die gesamte Anlage erforderliche Energieeinsatz liegt bei 3,5 kWh/m³ Permeat. Die nachfolgende Abbildung zeigt das vereinfachte Fließbild der konzipierten Anlage:

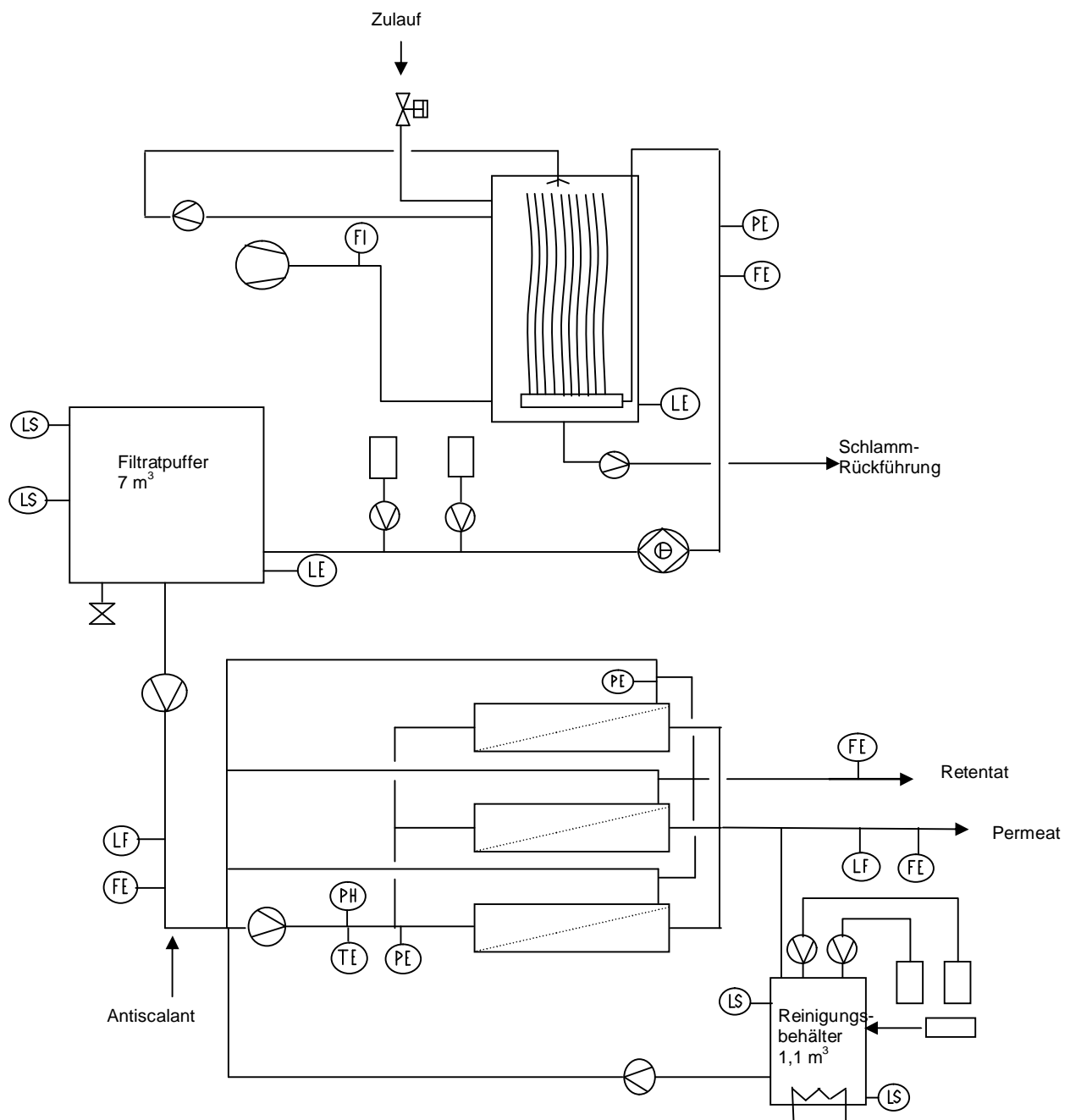


Abbildung 6-47 Fließbild getauchte Ultrafiltration mit Umkehrosmose

6.3.3.6 Resümee

Der Versuchsverlauf hat gezeigt, dass mit getauchten Polymermembranen ein trübungsfreies Filtrat aus biologisch behandeltem Brauereiabwasser gewonnen werden kann. Dabei war bis zu einem Fluss von $30 \text{ l/m}^2\text{h}$ keine Verblockungstendenz der Membranen erkennbar. Erst bei noch höheren Flussraten stellte sich eine Verblockung ein, die jedoch reversierbar war.

Der Einfluss der Rohwassertrübung auf die Permeabilität konnte in diesem Versuch wegen der fehlenden Messtechnik im Zulauf zur Membrananlage nicht präzise beschrieben werden.

Dennoch lässt sich festhalten, dass ein Betrieb der Ultrafiltration mit dem hier angewandten Verfahren über mehr als 4 Wochen ohne Reinigung der Membran erfolgreich aufrechterhalten werden konnte. Erst durch das Anheben des Flusses auf Extremwerte wurde eine Membranreinigung erforderlich.

Aufgrund der vorliegenden Versuchsergebnisse und der Analyse des Ultrafiltrats sah sich die Firma Koch Membrane Systems in der Lage, ein verhandlungsfähiges Angebot über eine Industrieanlage bestehend aus Puron®-Ultrafiltration mit nachgeschalteter Umkehrosmose mit einer Permeatleistung von $8,5 \text{ m}^3/\text{h}$ vorzulegen.

Gegenstand der weiteren Untersuchung blieb die Erprobung des Betriebs der Umkehrosmose.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.3.4 Mikrofiltration mit Druckrohr-Polymermembranen und Umkehrosiose

Aufgrund der Ergebnisse mit der Keramischen Ultrafiltration (vgl. Kapitel 6.3.2) sollten auch andere Membrantechnologien für die 2-stufige Arbeitsweise für die Abwasseraufbereitung in Betracht gezogen werden. Neben der Ultrafiltration mit getauchten Membranen (vgl. Kapitel 6.3.3) wurde ein weiterer Pilotversuch mit einer Kombination von Druckrohr-Polymer-Hohlfasermembranen als Mikrofiltration und Spiralwickelmodulen in der Umkehrosiose durchgeführt.

Schwerpunkte der Untersuchungen waren der Tauglichkeitsbeweis der Mikrofiltration für die Vorklärung und die Festlegung einer praxistauglichen Arbeitsweise in der Umkehrosiose im Hinblick auf die erforderlichen Reinigungsprozeduren und die Prozessführung.

Die Pilotierung wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen GE-Infrastructure und Pall Wassertechnik durchgeführt.

6.3.4.1 Aufbau und Funktion der Pilotanlage

Die Abbildung unten zeigt ein vereinfachtes Fließschema der zweistufigen Pilotanlage, deren Stufen unabhängig voneinander betrieben werden konnten.

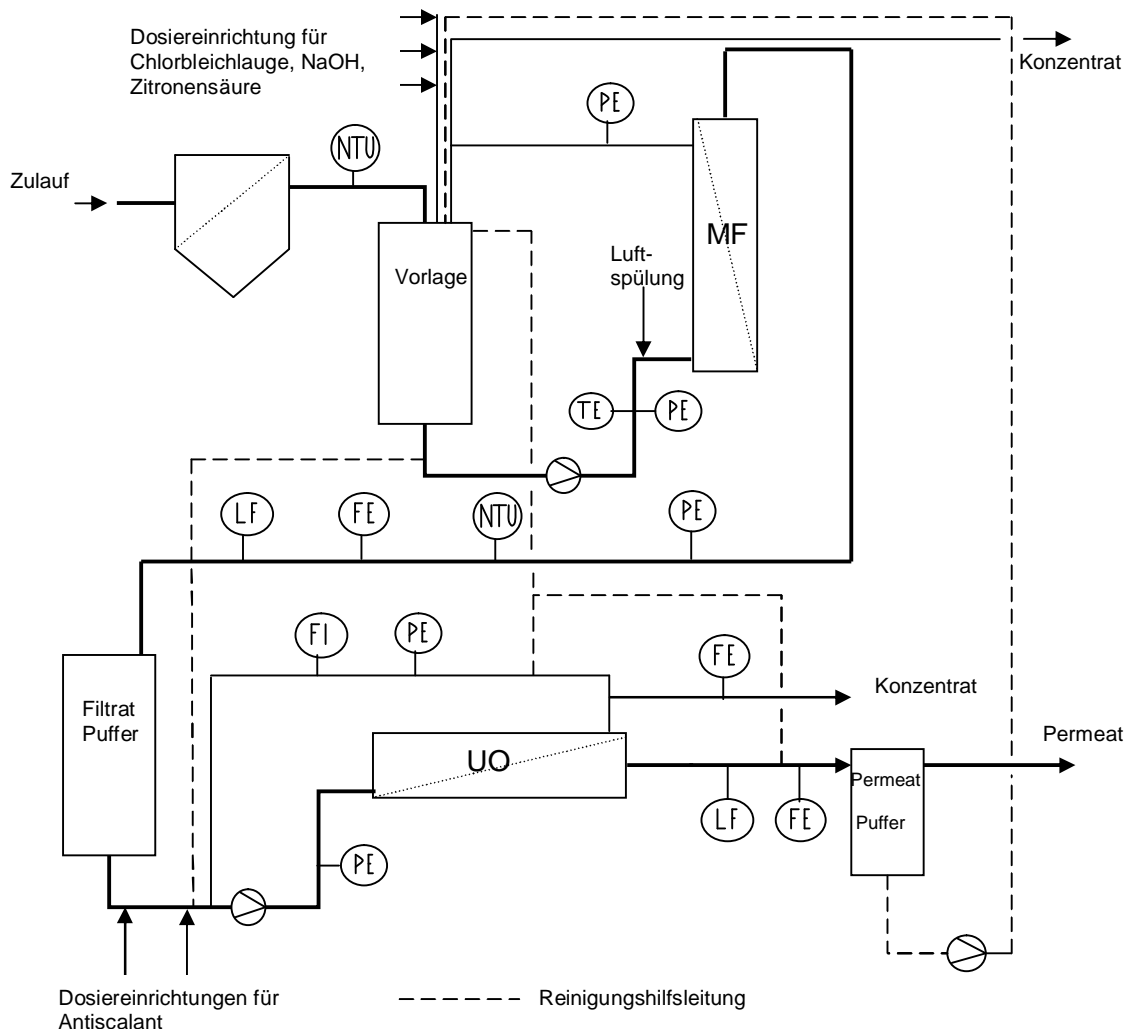


Abbildung 6-48 Fließbild Mikrofiltration und Umkehrosiose GE-Pall

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

In der Mikrofiltration war ein Pall-Microza-Modul® mit einer Membranfläche von 50 m² eingebaut. Die PVDF-Membran hat eine nominelle Porenweite von 0,1µm, wird von außen nach innen durchströmt, ist rückspülbar und mittels Luftbewegung zu reinigen. Sie ist beständig gegen Chlor und andere oxidative Reinigungsmittel. /Pall 2006/⁹⁵

In der Umkehrosmose wurden Duraslick™ RO 8040 Module der Firma GE-Osmonics eingesetzt. Die Membran ist dreilagig konstruiert, wobei auf einem Polyestervlies eine Polysulfonlage unter einer von einer Zwischenlage getragenen Polyamid-Dünnschicht liegt. /GE-Osmonics 2006/⁹⁶

Die Membran erfordert eine Eingangstrübung unter 1 NTU und arbeitet nach Herstellerangabe typischerweise mit einem Fluss von 15-25 l/m²h bei 12-18 bar und hat eine Fläche von 32,5m² pro Modul. Über die beiden eingesetzten Module wurde ein Rezirkulationsvolumenstrom von 3500-4000 l/h geführt.

Die Anlage war komplett auf einem Grundrahmen montiert und mittels einer SPS automatisiert.

Die online erfassten Daten wurden gespeichert und standen zur Auswertung in Excel-Dateien zur Verfügung. Gemessen wurden Zulaufdruck und Retentatdruck beider Stufen und der Filtratdruck (PE), Trübung im Zulauf und im Filtrat (NTU), Leitfähigkeit im Filtrat und im Permeat (LF), Temperatur vor dem Mikrofiltrationsmodul (TE) und Filtrat- und Permeatvolumenstrom (FE). Die Anlage verfügte ferner über Schwebekörperdurchflussanzeigen für die Retentatströme (FI) beider Stufen sowie den eingesetzten Luftstrom für das Air-Scrubbing.

Der Zulauf zur Anlage erfolgte über ein Vorfilter mit Wickelkerzen aus dem Klarlauf der Sedimentation der Abwasseranlage niveaugesteuert in den Vorlagebehälter. Aus diesem wurde das Mikrofiltrationsmodul beschickt und die Überströmung von circa 1000 l/h in denselben rückgeführt. Nach jeweils 15 min Filtration wurde ein so genanntes Air-Scrubbing unter gleichzeitigem Rückspülen für 60 s durchgeführt.

Das Filtrat gelangte in den Zwischenpuffer, von dem es in der ersten Versuchsphase abgeleitet und in der zweiten Versuchsphase der Umkehrosmose zugeführt wurde, die nach dem „feed and bleed“-Prinzip betrieben wurde.

In einem Permeatpuffer wurde Permeat für die Reinigungsvorgänge gespeichert.

Als Antiscalant wurde das Produkt Hypersperse MDC 150 der Firma GE-Betz eingesetzt. Auf eine pH-Korrektur wurde wegen des hohen Puffervermögens des Wassers verzichtet.

Für die Reinigungsprozesse konnte die Umkehrosmose direkt aus dem Vorlagebehälter betrieben werden.

Die Reinigung der UO Membranen wurde in zwei, später drei Schritten durchgeführt und bestand aus einem sauren und einem alkalischen Reinigungsschritt, später gefolgt von einem weiteren Säureschritt. Als saure Reiniger kamen Zitronensäure und Salzsäure, als alkalischer Reiniger Natronlauge zum Einsatz.

Die Mikrofiltrationsmembran wurde mit Natriumhypochlorit gereinigt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.3.4.2 Untersuchte Parameter

Während der gesamten Versuchsdauer wurden die in der folgenden Aufstellung aufgeführten Parameter im Zulauf, im Filtrat und im Permeat untersucht.

Täglich untersuchte Parameter MF und UO			
Abwasserparameter	Kationen	Anionen	Sensorik
CSB	Natrium (Na ⁺)	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Geruch
Leitfähigkeit	Kalium (K ⁺)	Nitrit (NO ₂ ⁻)	Farbe
pH	Calcium (Ca ²⁺)	Chlorid (Cl ⁻)	Geschmack
N-Ges		Sulfat (SO ₄ ²⁻)	
PO ₄ - P			
Trübung			

Tabelle 6-9 Untersuchte Parameter Mikrofiltration und Umkehrosmose

Aus Einzelproben wurden außerdem weitere Inhaltstoffe der Wasserströme bestimmt, die in der Tabelle Stichprobenanalytik aufgeführt sind:

Stichprobenanalytik				
Kationen	Anionen	TWVO Mikrobiologie	org. Kohlenstoff	TWVO Chemie
Aluminium	Hydrogenkarbonat	Gesamtkeimzahl	TOC	gem. TVO Anlage 2
Ammonium,	Fluorid	Fäkalindikatoren	n. stripbarer C	Teil I und II
Barium	Chlorid			
Blei	Phosphat			Anlage III
Eisen	Silikat, gesamt als SiO ₂			
Kupfer	Schwefel, gesamt als SO ₄			
Magnesium als Mg-Härte				
Mangan				
Quecksilber				
Strontium				

Tabelle 6-10 Stichprobenanalytik Mikrofiltration und Umkehrosmose

Darüber hinaus wurden Reinigungslösungen auf Calcium, Aluminium, Phosphat und CSB untersucht.

Am Ende der Pilotierung wurde der Belag auf der Umkehrosmosemembran genaueren Untersuchungen unterzogen.

Dabei wurden neben lichtmikroskopischer Untersuchung, Bestimmung der Ablagerungs-Gewicht-Dichte (Deposit-weight-Density) und Glühverlustbestimmung

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

zur Ermittlung des organischen Anteils der Ablagerung und des Karbonats folgende spezielle Methoden angewandt:

- Rasterelektronenmikroskop-Energie-Dispersionsröntgenstrahl-Analyse zur Bestimmung der Elementarzusammensetzung der Ablagerung von Elementen mit einer Ordnungszahl > 10
- Fourier-Transformation-Infrarot-Analyse zur Identifizierung der relevanten organischen Verbindungen in der Ablagerung
- ATP-Messung zur Bestimmung des mikrobiologisch verursachten Anteils der Ablagerung

6.3.4.3 Ergebnisse Produktionsversuche

Die Pilotanlage wurde insgesamt über einen Zeitraum von 5 Monaten betrieben. Im ersten Monat erfolgte die Erprobung der Mikrofiltration ohne weitere Verarbeitung des Filtrats. Danach wurde auch die Umkehrosmose in Betrieb genommen.

6.3.4.3.1 Ergebnisse Produktionsversuche Mikrofiltration

Die online aufgezeichneten Betriebsdaten der Erprobungsphase der Mikrofiltration sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

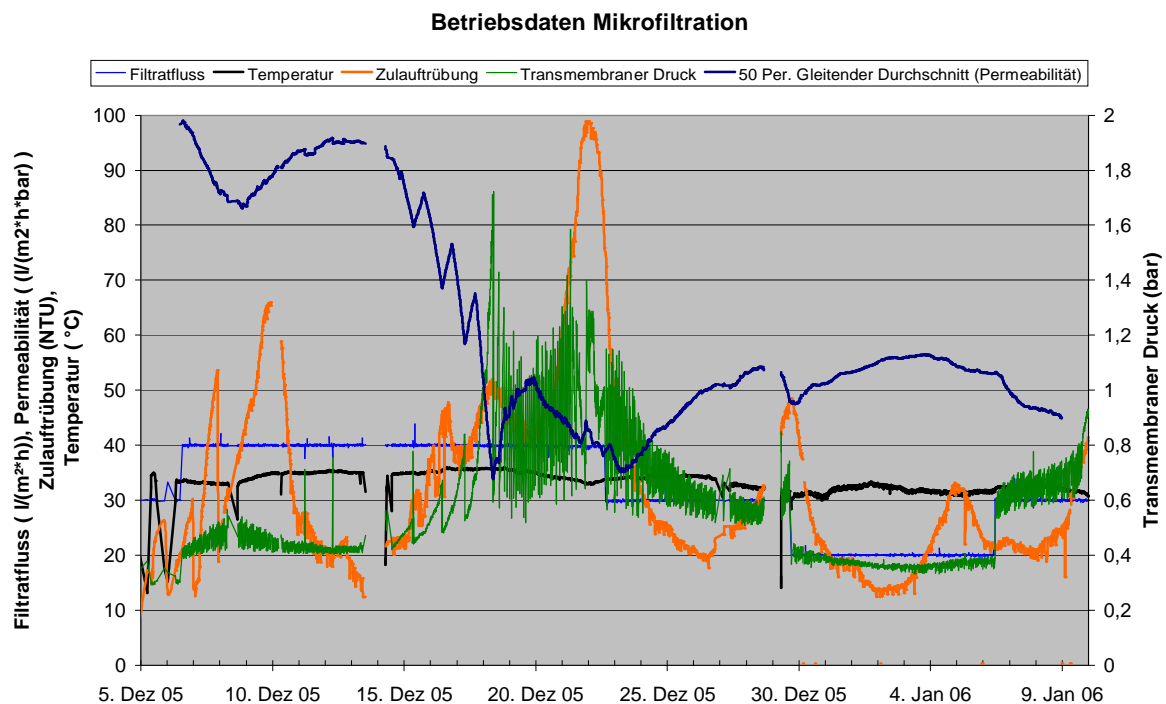


Abbildung 6-49 Betriebsdaten Mikrofiltration mit Pall-Mikroza-Modul® Dez. 2005

Es konnte ein stabiler Betrieb der Mikrofiltration erreicht werden, wobei der Fluss zwischen 20 l/m²h und 40 l/m²h gehalten wurde.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Trübung des Zulaufes zeigte den erwarteten Einfluss auf den Transmembrandruck, der insbesondere zwischen dem 16. und 26. Dezember durch eine störungsbedingte Trübungszunahme am Ausgang der Abwasseraufbereitung evident wurde. Der Rückgang des Transmembrandrucks nach Reduzierung des Flusses setzte sich dann aber auch bei konstantem Fluss und niedrigerer Trübung fort, was als Reinigungserfolg der Rückspülungen und des Air-Scrubbings zu werten ist. Die Permeabilität bewegte sich zwischen $100 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$ und $35 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$ bei einem Mittelwert von $56 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$.

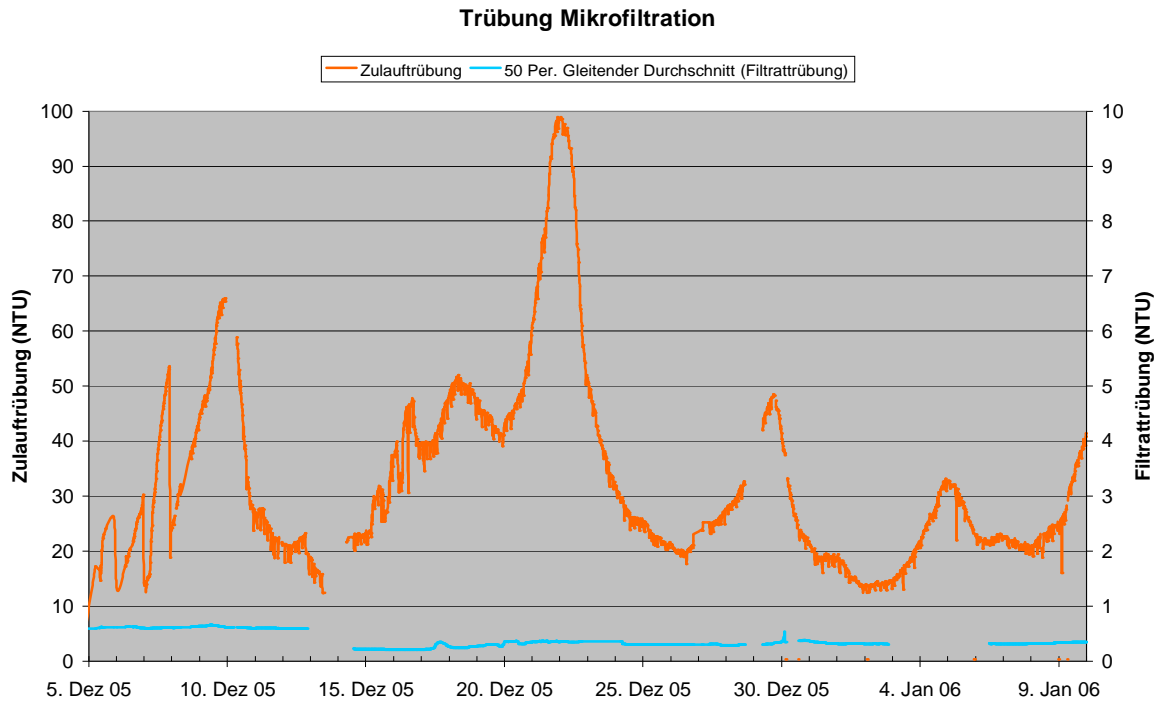


Abbildung 6-50 Trübung Zulauf und Filtrat

Aus der obigen Abbildung ist ersichtlich, dass die Filtrattrübung von der Zulauftrübung nicht beeinflusst wurde. Der visuelle Befund des Filtrates war stets „ohne erkennbare Trübung“. Die Filtrattrübungsmessung lieferte jedoch nicht über den gesamten Zeitraum plausible Messwerte, da sich immer wieder Störungen der Messung ereigneten. Die Fehlmessungen sind in der Abbildung eliminiert.

Die Trübung wurde im Mittel um 98,9 % reduziert und lag im gesamten Beobachtungszeitraum deutlich unter der Anforderung von $<1 \text{ NTU}$ für die weitere Aufbereitung mittels Umkehrosmose.

Die übrigen ermittelten Analyseergebnisse sind in der nachfolgenden Abbildung 6-52 zusammenfassend dargestellt.

Erwartungsgemäß wurden die gelösten Inhaltstoffe durch die Filtration nicht beeinflusst. Auffälligkeiten ergaben sich lediglich hinsichtlich des CSB, des Gesamtstickstoffs und des Phosphatphosphors. Diese Parameter hängen aufgrund der Analysemethoden auch vom Gehalt an Mikroorganismen ab, wodurch ein Rückhalt dieser Inhaltstoffe zu verzeichnen war.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

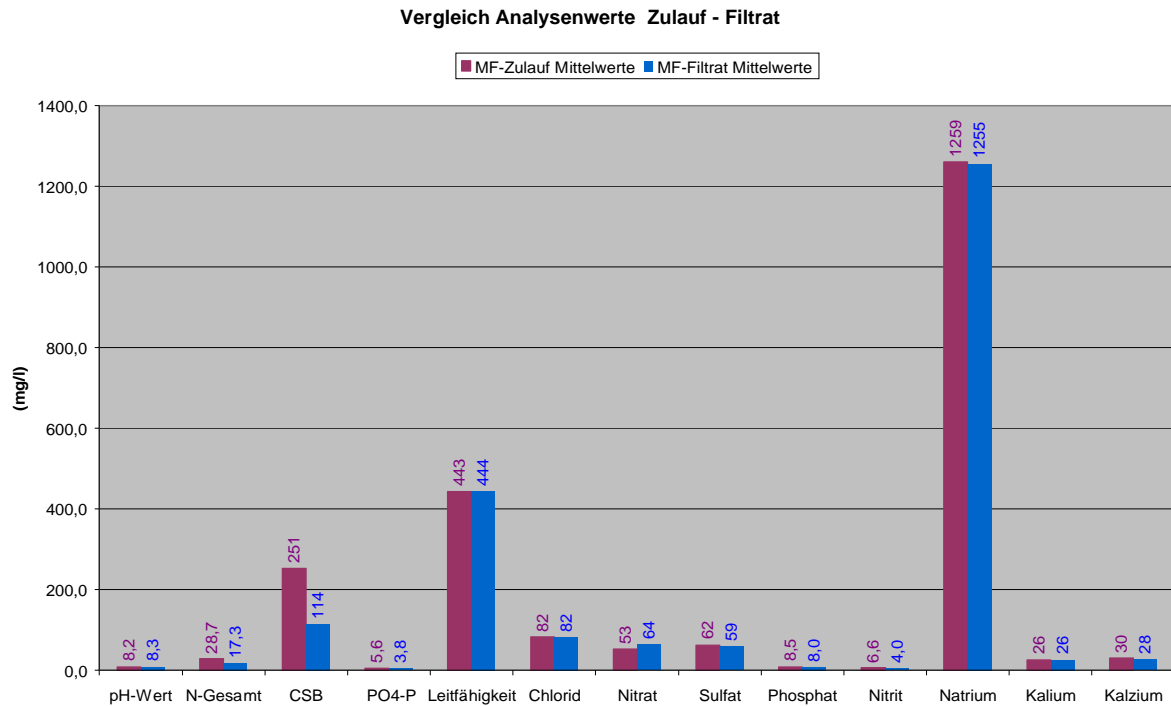


Abbildung 6-51 Analysenergebnisse Mikrofiltration (Mittelwerte Dezember 2005)

Beim CSB ist in der Abbildung 6-53 der Verlauf von Zulauf und Filtrat gegenübergestellt. Dabei dokumentiert sich, dass im Laufe des Beobachtungszeitraumes nicht nur ein Sedimentationsproblem in der Abwasseranlage bestand, sondern durch Belastungsspitzen auch der gelöste CSB starken Schwankungen unterlag.

Der mittlere CSB-Rückhalt der Mikrofiltration lag dennoch bei 54,7%.

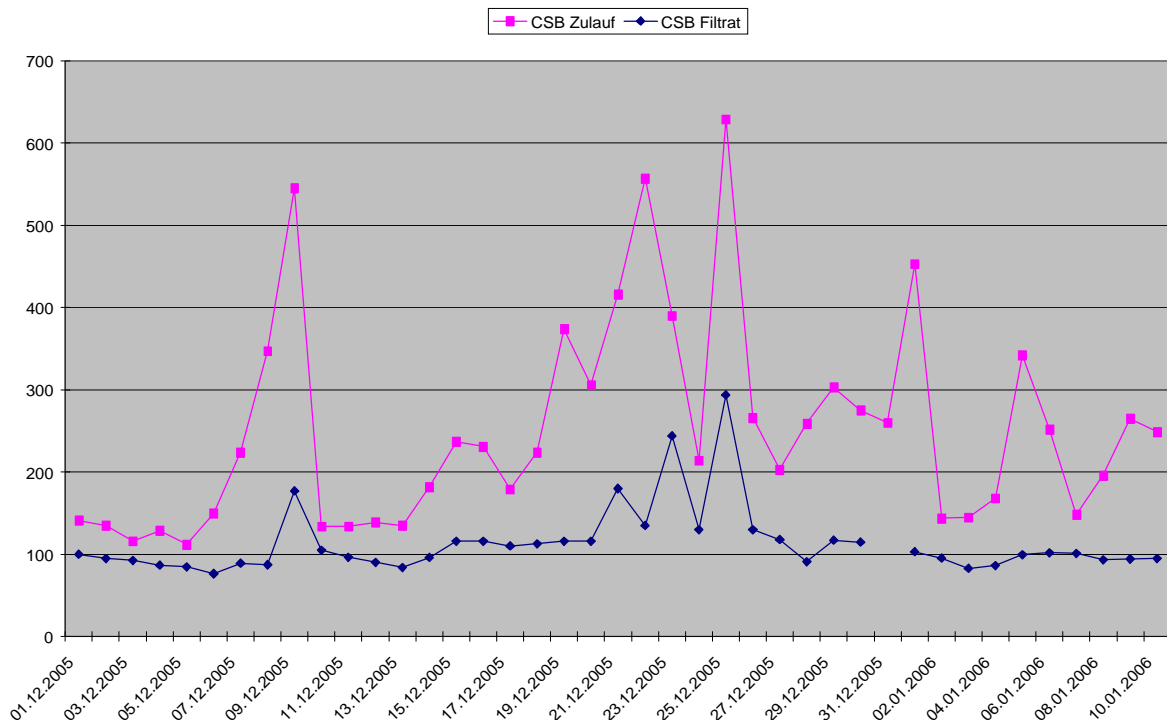


Abbildung 6-52 CSB Verlauf Mikrofiltration

Die Farbe des Filtrates war hellgelb bis kräftig gelb, der Geruch war schwach abwassertypisch.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Eine Reinigung der Membran wurde über den Beobachtungszeitraum 1.12.05 bis 10.1.06 nicht durchgeführt.

Ab dem 11.1.06 wurde die Umkehrosmose als zweiter Verarbeitungsschritt in Betrieb genommen, während die Mikrofiltration weiter betrieben wurde. Die Betriebsdaten der Mikrofiltration des zweiten Beobachtungszeitraums sind in der folgenden Grafik dargestellt. Die Unterbrechungen der Aufzeichnung sind durch Störungen im Betrieb der Umkehrosmose verursacht. Die Mikrofiltrationsanlage zeigte über 5 Monate ein sehr stabiles Betriebsverhalten. Auch die Anhebung des Flusses auf 50 l/m²h führte nicht zu irreversibler Membranverblockung.

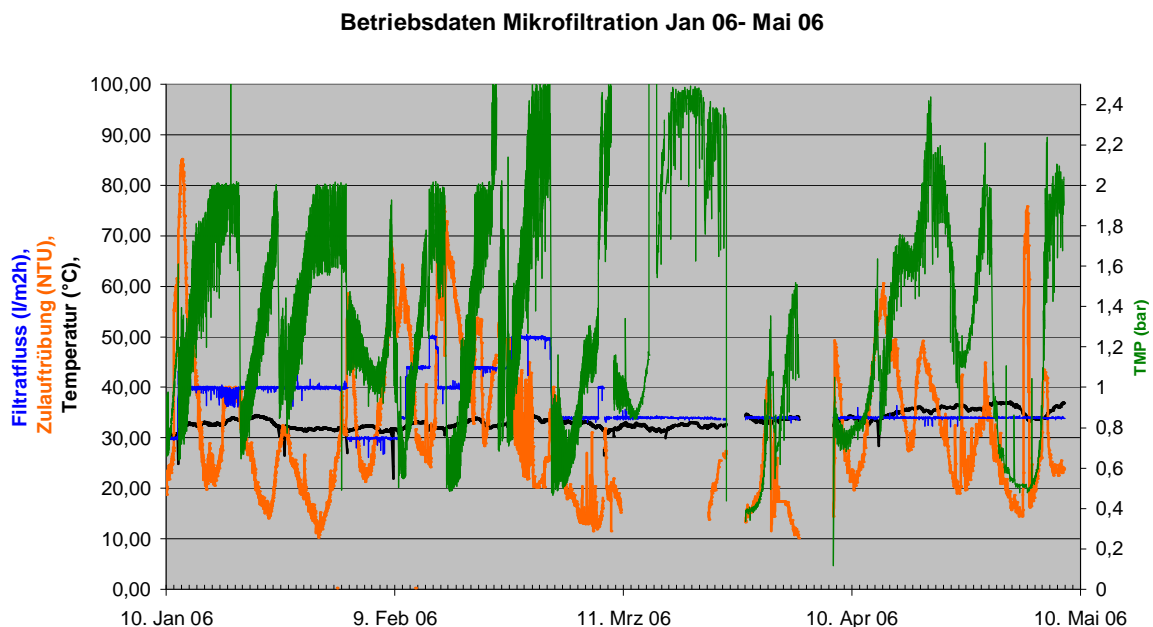


Abbildung 6-53 Betriebsdaten Mikrofiltration mit Pall-Mikroza-Modul[®] Jan bis Mai 2006

In diesem Beobachtungszeitraum wurde die Membran mehrmals mit Erfolg gereinigt. Die analytischen Ergebnisse der ersten Pilotierungsphase wurden bestätigt.

6.3.4.3.2 Ergebnisse Produktionsversuche Umkehrosmose

Die Abbildung 6-54 zeigt den Verlauf des Permeatvolumenstroms, des Zulaufdrucks und die Leitfähigkeiten vor und nach der Membran über den gesamten Testzeitraum.

Der Betrieb der Umkehrosmose bis zum 24.2.06 war geprägt von einem Fehler in der Umwälzpumpe, der durch eine pumpeninterne Rückströmung den Pumpendruck auf <10 bar begrenzte. Außerdem bereitete die Regelung der Ausbeute aufgrund eines Defektes am Regelventil bis Anfang März Probleme.

Dieser Zeitraum wird bei der Auswertung der Ergebnisse nicht beachtet.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Betriebsdaten Umkehrosmose Jan 06 - Mai 06

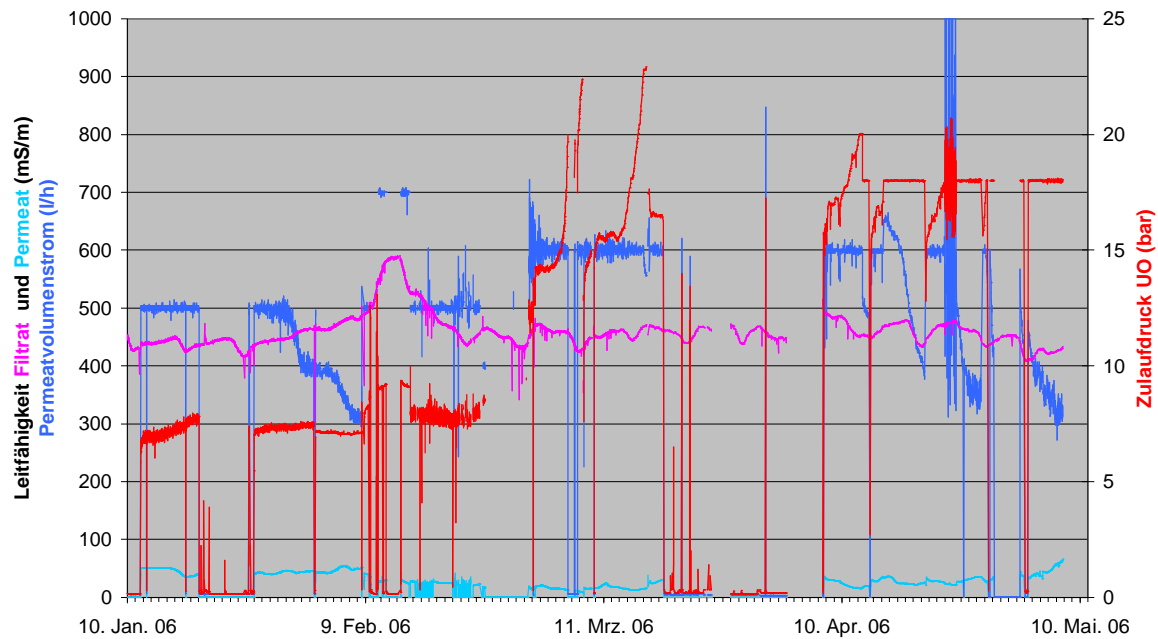


Abbildung 6-54 Betriebsdaten Umkehrosmose mit Duraslick 8040® Modulen Jan -Mai

Vom 2.3.06 an konnten insgesamt 6 Wochen als vollständige Versuchswochen ausgewertet werden. In dieser Zeit wurden zwei Module in einem Druckrohr betrieben, wobei zunächst der Volumenstrom konstant gehalten wurde, während der Druck bis zum Abschaltpunkt anstieg. Ab dem 10.4.06 wurde der Druck auf 18 bar begrenzt, so dass der Volumenstrom bis zum Ende der Versuchswoche abfiel.

Differenz- und Zulaufdruck Umkehrosmose 2.3.- 05.05.2006

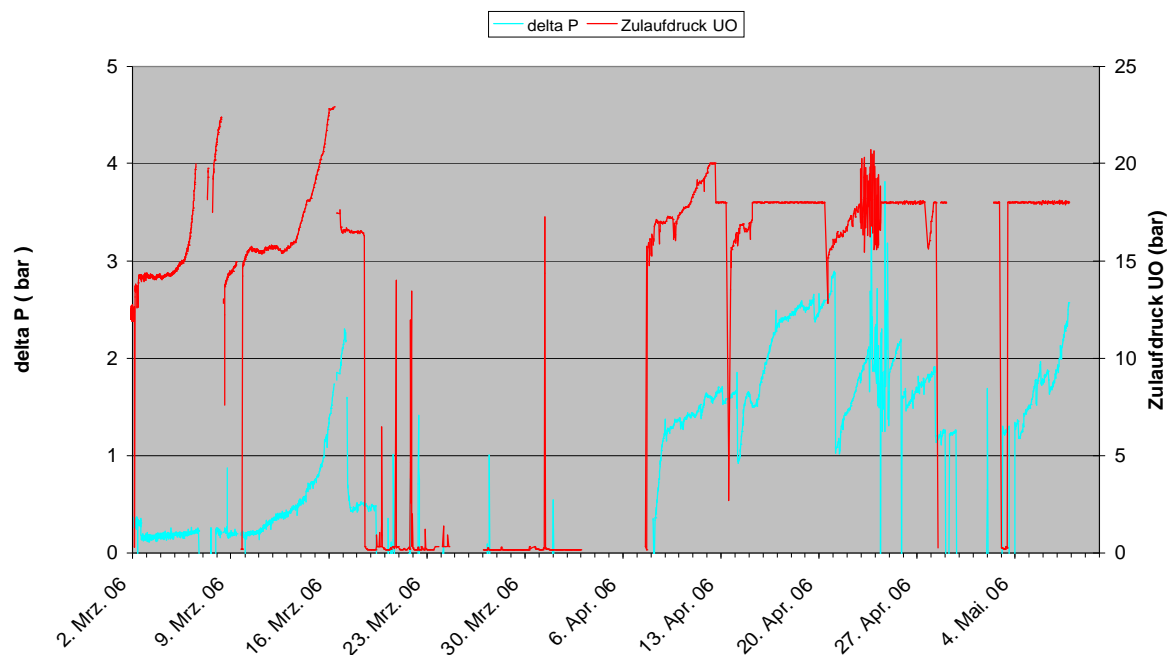


Abbildung 6-55 Differenz- und Zulaufdruck Umkehrosmose

In der zweiten Versuchswoche vom 10. bis zum 17. März trat parallel zum Anstieg des Zulaufdrucks ein signifikanter Anstieg des Differenzdrucks der Module auf. Dies

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

zeigt, dass es nicht nur zu Scaling auf der Membran kam, sondern auch zu Ablagerungen im Spacer. (vgl. Kapitel 6.3.4.4)

Die Abbildung 6-56 zeigt weitere Betriebsdaten der zweiten ausgewerteten Woche.

Betriebsdaten Umkehrosmose 9.3.- 17.3.2006

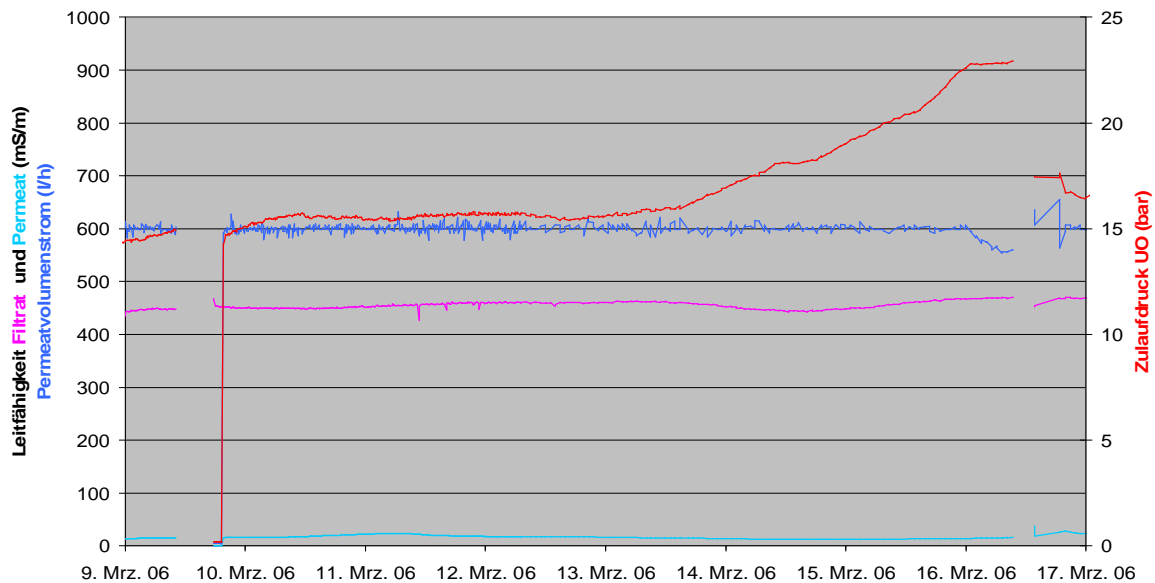


Abbildung 6-56 Wochenverlauf Umkehrosmose mit Duraslick 8040[®] Modulen im März

Nach 4 Tagen begann der Zulaufdruck durch Scaling anzusteigen. Der Fluss von 9,2 l/m²h konnte dennoch über 6,5 Tage aufrechterhalten werden.

Die folgende Grafik stellt die geänderte Betriebsweise mit auf 18 bar begrenztem Druck und abfallendem Volumenstrom dar.

Betriebsdaten Umkehrosmose 13.4.- 21.4.2006

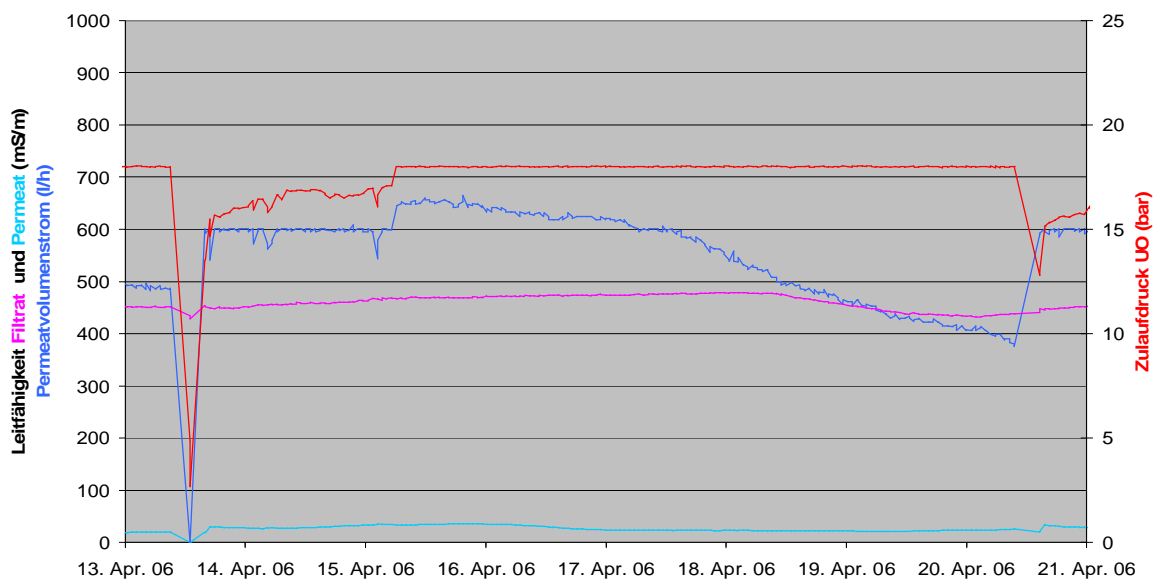


Abbildung 6-57 Wochenverlauf Umkehrosmose mit Duraslick 8040[®] Modulen im April

Auch in dieser Betriebsweise war nach 4 Tagen eine Veränderung zu beobachten, als der Permeatvolumenstrom in eine deutlich fallende Tendenz überging.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Betrachtet man den Verlauf der Permeabilität bei Prozesstemperatur in den beiden oben beschriebenen Versuchswochen, zeigt sich, dass das Betriebsverhalten sehr ähnlich war:

Für vier Tage blieb die Permeabilität oberhalb $0,5 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$. Zu Beginn lag das Niveau des ersten hier betrachteten Laufs geringfügig oberhalb des Niveaus des zweiten Laufs, jedoch begann der Abfall im ersten Lauf etwa 20 h früher als im zweiten. Nach 144 h lag die Permeabilität in beiden Läufen bei $0,37 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$.

Die folgende Grafik zeigt die Permeabilität der beiden Versuchswochen im Vergleich über der Versuchsdauer.

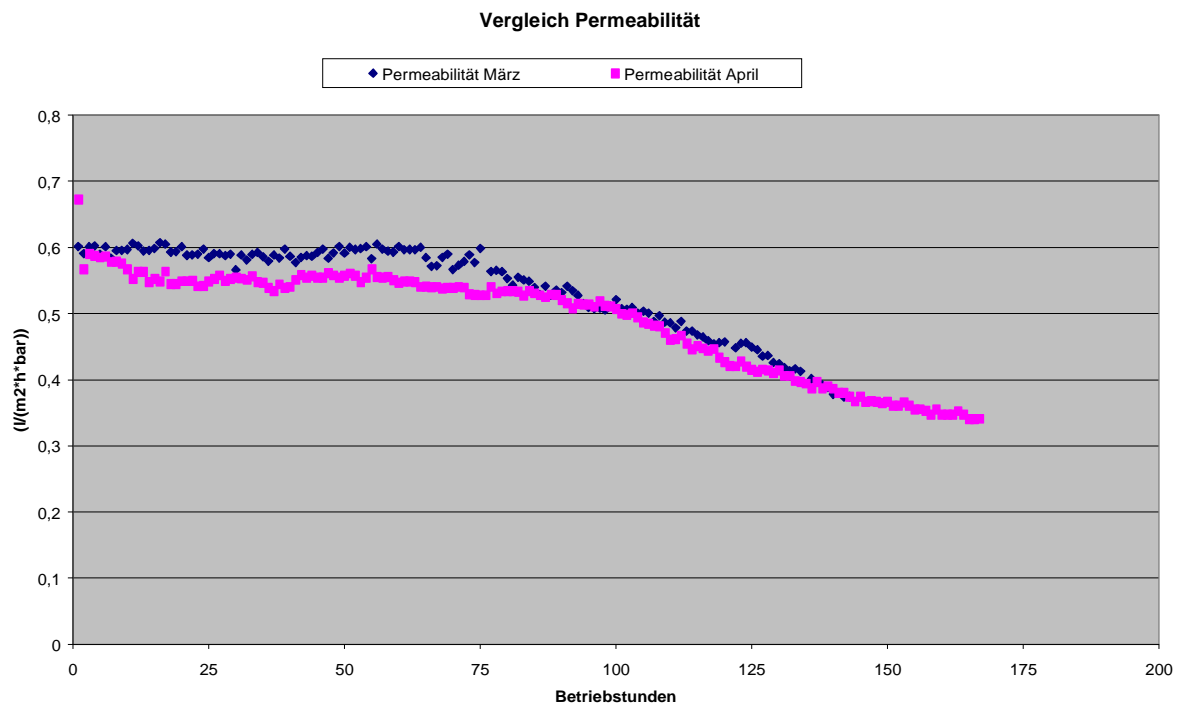


Abbildung 6-58 Permeabilität Umkehrosmose 9.3.-16.3.06 und 13.4.-20.4.06

Es war wiederholt über den Zeitraum von 4 Tagen ein Fluss von $9,2 \text{ l}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ bei einer Permeabilität von $0,55 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$ erreicht worden. In den letzten beiden Wochen waren erneut Probleme mit der Ausbeuteregulierung aufgetreten.

Die Leistungsdaten lagen unterhalb der Erwartungen, konnten aber zur Auslegung der mit diesem Anlagenkonzept angebotenen Industrieanlage herangezogen werden.

Die Analysenergebnisse von den täglichen Proben des Permeats der Umkehrosmose (wie auch des Mikrofiltrates und des Zulaufs) sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

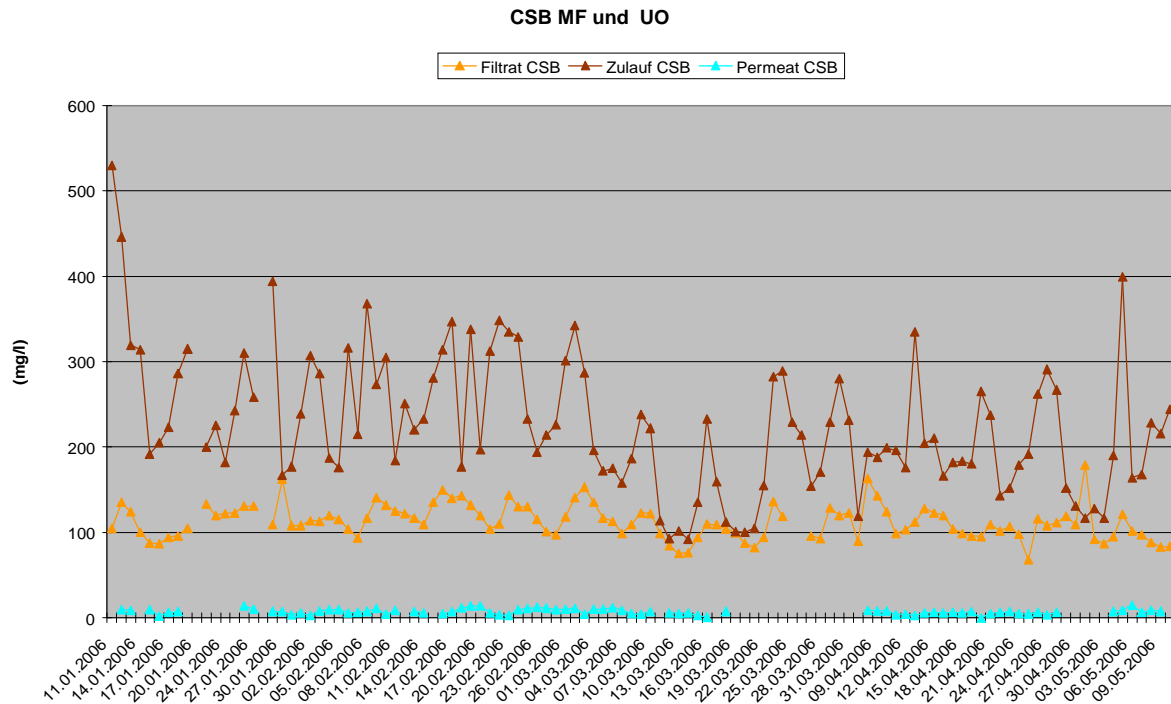


Abbildung 6-59 CSB im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006

Die Mikrofiltration zeigte auch in diesem Beobachtungszeitraum einen CSB-Rückhalt von 50 %. Im Permeat lag der CSB in allen Proben unter 15 mg/l bei einer Analysengenauigkeit von +/- 20 mg/l.

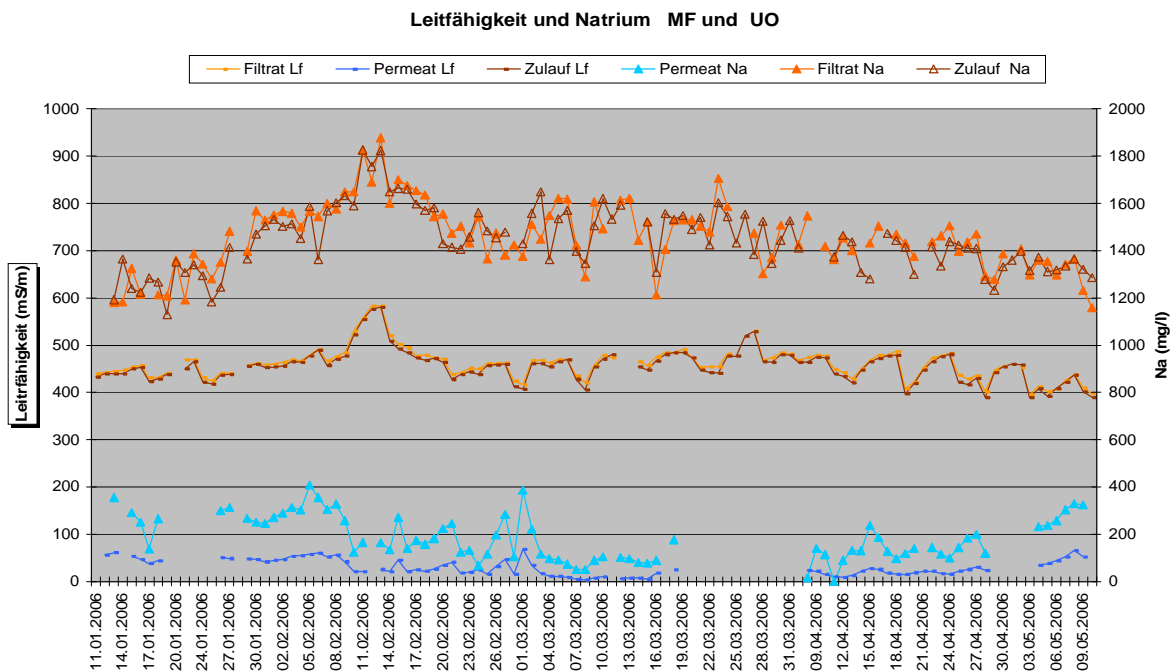


Abbildung 6-60 Leitfähigkeit und Natrium im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan–Mai 2006

In der vorstehenden Abbildung sind die Leitfähigkeit und die Natriumgehalte aller ausgewerteten Proben aufgezeichnet. Es ist ersichtlich, dass erst ab Anfang März in der Umkehrosmose ein Betrieb mit der angestrebten Betriebsweise möglich war. Schwankungen der Leitfähigkeit im Permeat korrelieren mit dem Natriumgehalt. Es

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

war trotz der hohen Salzgehalte im Filtrat möglich, ein Permeat zu erzeugen, das eine Leitfähigkeit von nur 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (20mS/m) aufwies.

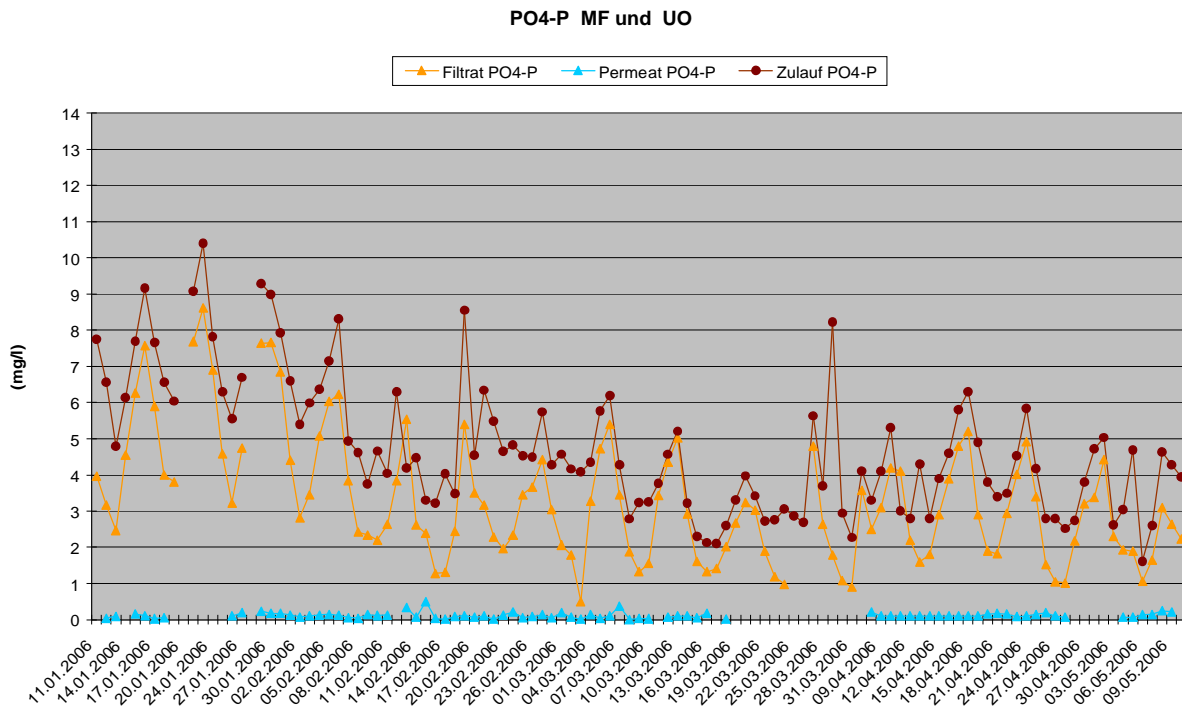


Abbildung 6-61 PO₄-P im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006

Abbildung 6-61 verdeutlicht, dass auch bei stark schwankenden Phosphat-Phosphor-Gehalten im Filtrat im Permeat ein PO₄-P von 0,1 mg/l erreicht wurde.

Erwartungsgemäß lag der pH-Wert im Permeat im Neutralbereich und damit etwa 1,0 niedriger als im Filtrat.

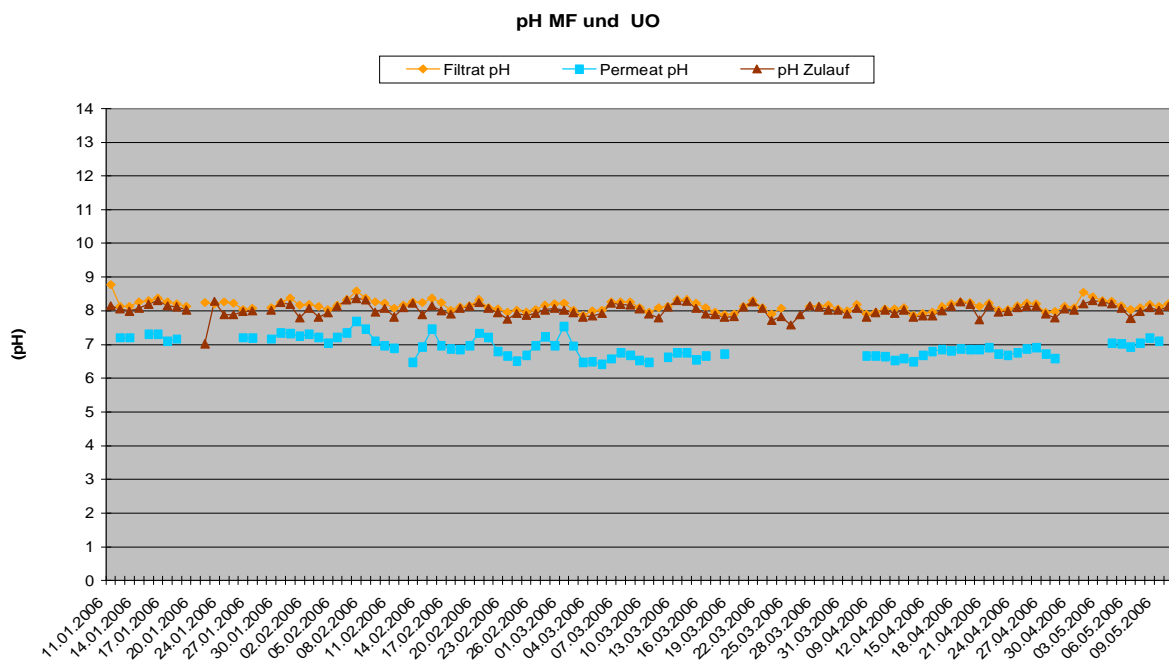


Abbildung 6-62 pH im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006

Die Analysendaten des Gesamtstickstoffs über den Betrachtungszeitraum sind im folgenden Diagramm dargestellt:

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

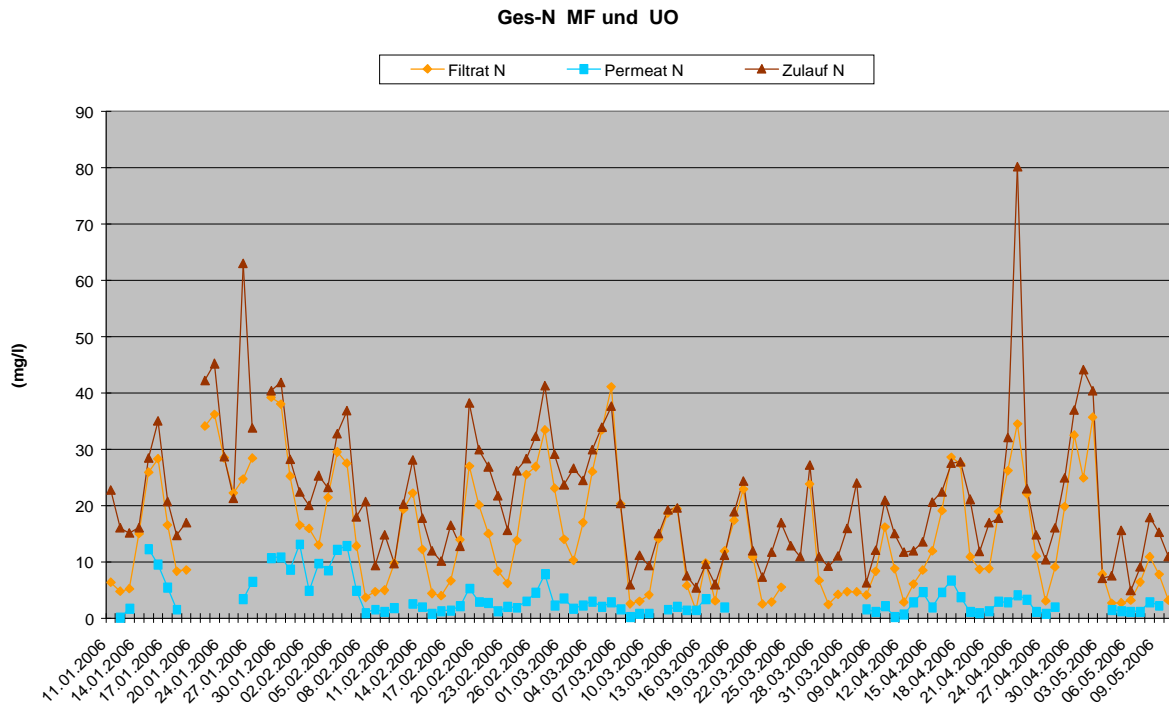


Abbildung 6-63 Gesamtstickstoff im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006

Auch am Gesamtstickstoffverlauf wird deutlich, dass in der ersten Zeit die Umkehrosmose aufgrund der oben erwähnten Anlagendefekte noch nicht wie gewünscht arbeitete. Ansonsten lagen die Werte im Permeat im erwarteten Bereich.

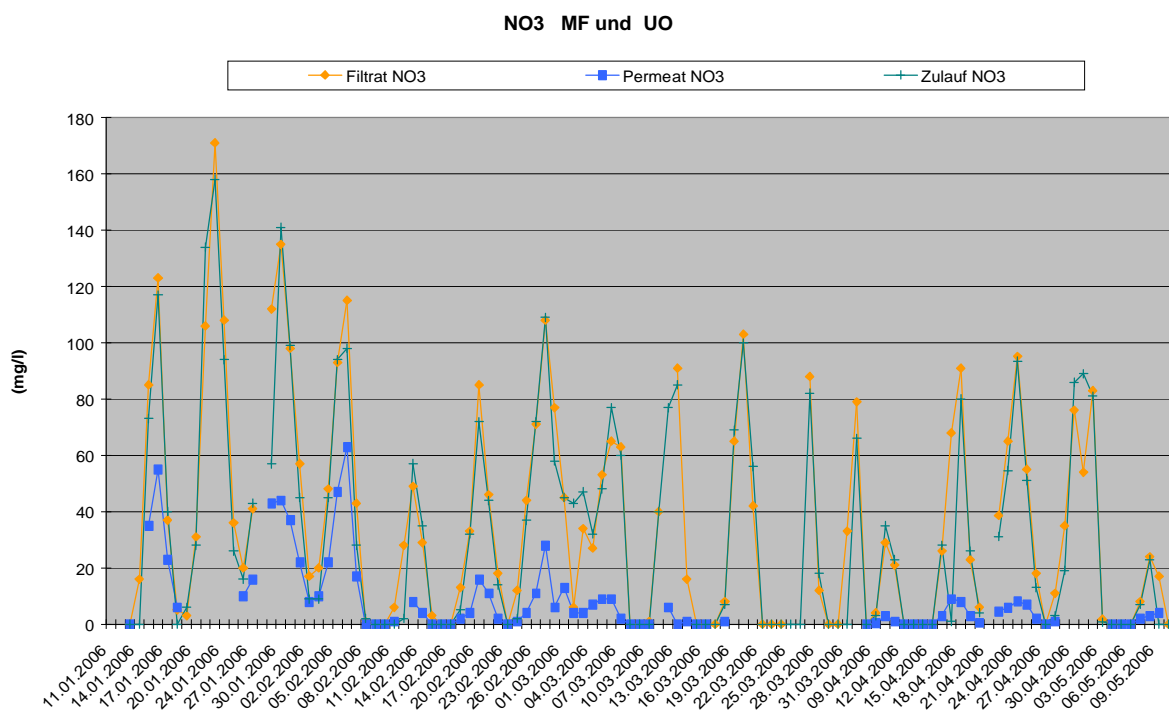


Abbildung 6-64 Nitrat im Zulauf, Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006

An den periodischen Schwankungen sowohl des Gesamtstickstoffs als auch des Nitrats wurde deutlich, dass zwar die Umkehrosmose ab März die gewünschte Trennleistung erbrachte, die biologische Behandlung des Abwassers hinsichtlich des

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Stickstoffabbau (Nitrifikation / Denitrifikation) jedoch noch nicht gleichmäßig über den Produktionswochenzyklus gewährleistet war. Ein Befund, der sich am Nitrit bestätigte:

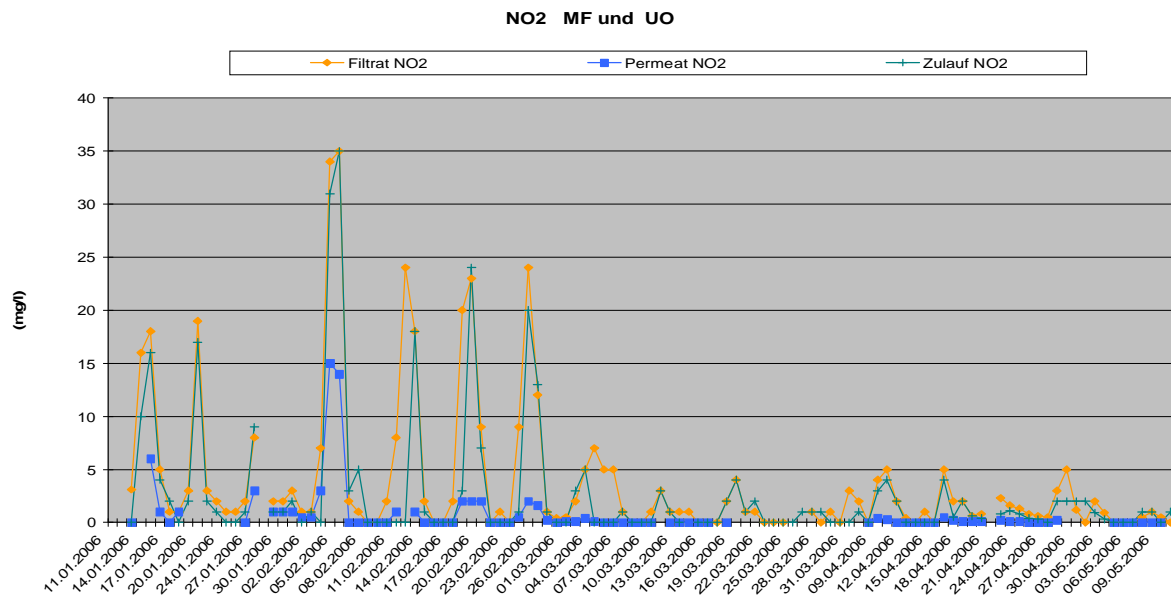


Abbildung 6-65 Nitrit im Zulauf, Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006

Der Rückhalt der Umkehrosiose über die regelmäßig untersuchten Inhaltstoffe ist in der folgenden Abbildung veranschaulicht:

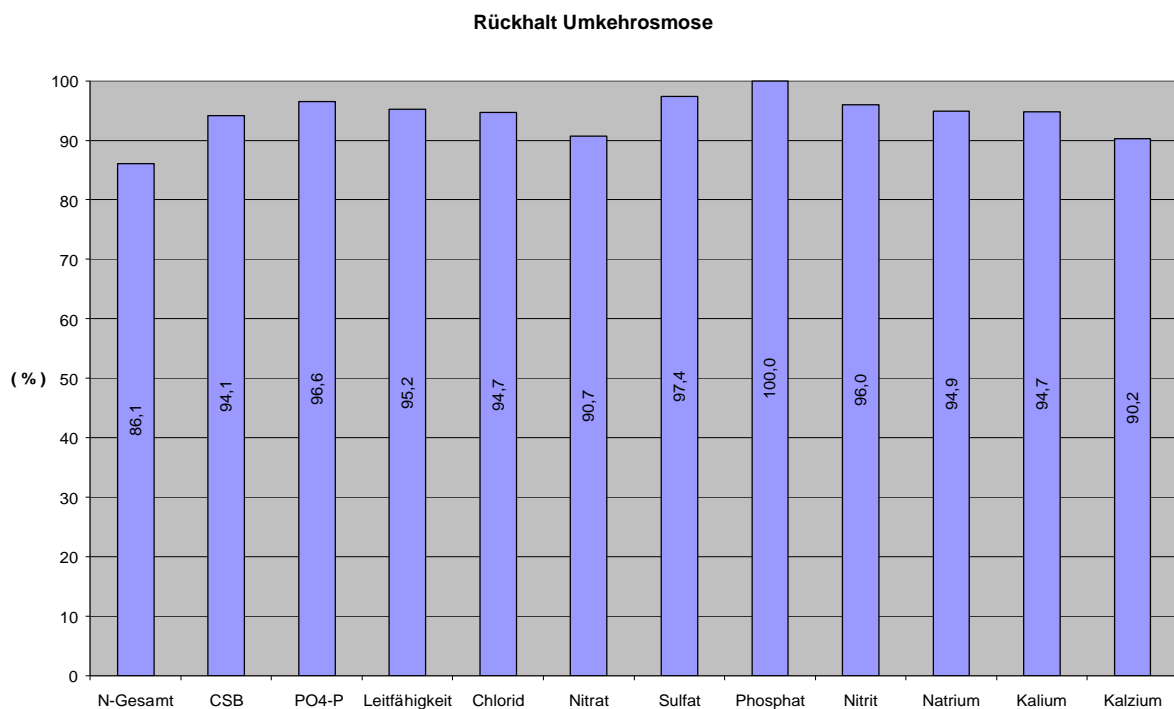


Abbildung 6-66 Rückhalt der untersuchten Inhaltstoffe – Mittelwerte März-Mai 2006

In der sensorischen Bewertung war das Permeat stets farblos und im Geruch unauffällig. Es konnte gelegentlich ein sehr schwach erdiger Geruch festgestellt werden, der jedoch keineswegs abwassertypisch war.

Der Geschmack war neutral, dabei leicht adstringierend.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die folgende Tabelle zeigt die Ionen, auf die in 4 Stichproben analysiert wurde, deren Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze der Analytik lag:

Kationen	Anionen
Aluminium	Fluorid
Blei	Schwefel, gesamt als SO ₄
Eisen	
Kupfer	
Mangan	
Quecksilber	
Strontium	

Tabelle 6-11 Ionen im Permeat unterhalb der Bestimmungsgrenze

Barium lag außerdem in drei Stichproben aus dem Zulauf zur Mikrofiltration bzw. dem Abwasserablauf unterhalb der Bestimmungsgrenze. (vgl. Anhang Kapitel 17.10.2)

Hydrogenkarbonat wurde im Permeat mit rund 160 mg/l und im Zulauf zur Mikrofiltration mit rund 3300 mg/l bestimmt.

Beim Institut Fresenius wurde zur Orientierung über den bisher beschriebenen Untersuchungsumfang hinaus eine Analyse des Permeats nach Trinkwasserverordnung 05.2001 über alle vorgeschriebenen Parameter für Trinkwasser in Auftrag gegeben. Die komplette Analyse ist im Anhang im Kapitel 17.10.3 aufgeführt.

Alle untersuchten Parameter „Pestizide“ und „Chemie allgemein“ entsprachen den Anforderungen nach TWVO 05.2001. /Fresenius Chem. 2006/⁹⁷.

Die mikrobiologische Untersuchung von Fresenius ergab keine Befunde für Escherichia Coli, Coliforme Bakterien, Enterokokken, Pseudomonas aeruginosa und Clostridium perfringens. /Fresenius MiBi 2006/⁹⁸

Die Koloniezahlen bei 20 °C und 36 °C lagen in der Untersuchung von Fresenius bei über 1000/ml. /Fresenius MiBi 2006/⁹⁹.

Eigene Untersuchungen an 3 verschiedenen Tagen ergaben Zahlen zwischen 65 und 100 KBE/ml. Die Differenzen zwischen den Untersuchungen liegen mit hoher Wahrscheinlichkeit im Zeitraum zwischen Probenahme und Verarbeitung begründet. Die Untersuchungen im eigenen mikrobiologischen Labor wurden stets am Tag der Probenahme durchgeführt, während der Versand zum Institut Fresenius mehrere Tage in Anspruch nahm und in ungekühlten Behältern erfolgte, so dass eine Anreicherung bereits auf dem Transportweg möglich wurde.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

6.3.4.4 Ergebnisse Reinigungsversuche

Die Reinigung der Mikrofiltrationsmembran hat sich als unkritisch herausgestellt. Aufgrund der Widerstandsfähigkeit der Mikroza®-Membran gegen oxidative Reinigungsmittel ebenso wie gegen Säuren und Laugen konnte die Reinigung stets zu befriedigenden Ergebnissen geführt werden. Hinzu kam, dass die Reinigungsnotwendigkeit der Mikrofiltration aufgrund der Rückspülungen und des Air-Scrubbings erheblich weniger häufig eintrat als bei der Umkehrosmose.

Ursprünglich war als Ziel für das Reinigungsintervall der Umkehrosmosemembran ein Zeitraum von 1-2 Wochen gewünscht. Darum wurde die Reinigung im Wochenzyklus getestet.

Reinigungslösungen und Termine der UO		Membranreinigung
Zitronensäure	08.03.2006	Reiniger A = NaOH+ Zusätze
NaOH	08.03.2006	
Zitronensäure	16.03.2006	alkalische Reinigung bei pH 11
NaOH	16.03.2006	
Zitronensäure	16.03.2006	saure Reinigung bei pH 2-3
Zitronensäure	30.03.2006	
Reiniger A	30.03.2006	
Zitronensäure+HCl	13.04.2006	
Reiniger A	13.04.2006	
Zitronensäure+HCl	20.04.2006	
Reiniger A	20.04.2006	
Zitronensäure+HCl	28.04.2006	
Reiniger A	28.04.2006	
HCl	28.04.2006	

Tabelle 6-12 Reinigungsmittel und -termine der Umkehrosmosemembranen

An den Tagen in der oben stehenden Tabelle wurde die Umkehrosmosemembran mit den aufgeführten Mitteln gereinigt.

Schon in der davor liegenden Versuchszeit hatte sich gezeigt, dass die bis dahin durchgeführten Reinigungen nicht immer zum gleichen Resultat geführt hatten. Darum wurde das Reinigungsverfahren variiert und die Reinigungslösungen der Reinigungsprozeduren wurden am Ende auf diejenigen Inhaltstoffe untersucht, die mit Hilfe der Auslegungssoftware „Argo Analyser“ /Argo Analyser/¹⁰⁰ als kritisch im Hinblick auf die Überschreitung der Sättigungsgrenze im Konzentrat trotz Verwendung geeigneter Antiscalants identifiziert worden waren. Die folgende Abbildung verdeutlicht, dass es sich um CaCO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ und Aluminium handelte.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Berechnete Sättigung im Konzentrat unter Verwendung von Hypersperse MDC150 in %

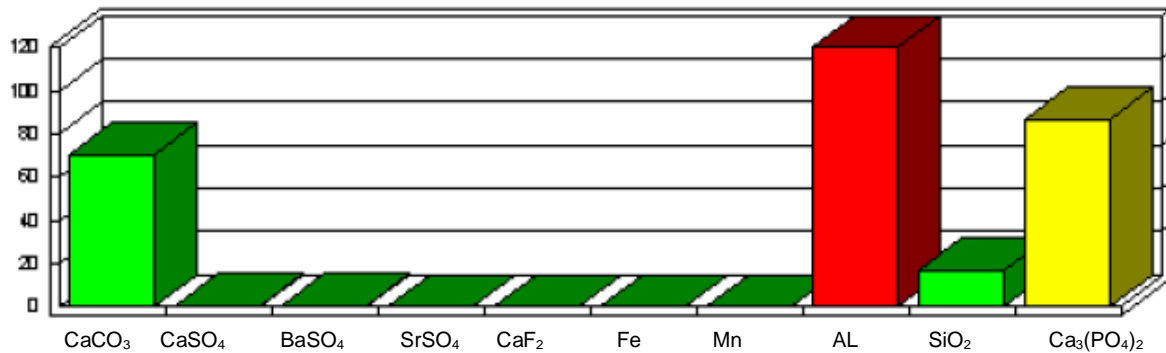


Abbildung 6-67 Sättigung bei Verwendung von Hypersperse MDC150

Die folgende Abbildung zeigt die Konzentration von Phosphat und Aluminium in den Reinigungsmedien am Ende der Reinigungsschritte. Aus ihr geht hervor, dass sowohl Aluminium als auch Phosphat jeweils im ersten, sauren Reinigungsschritt soweit gelöst werden konnte, dass in einer zweiten sauren Reinigung nach dem alkalischen Reinigungsschritt keine erhöhte Konzentration mehr gefunden wurde.

Aluminium und PO₄ in Reinigungslösungen der UO

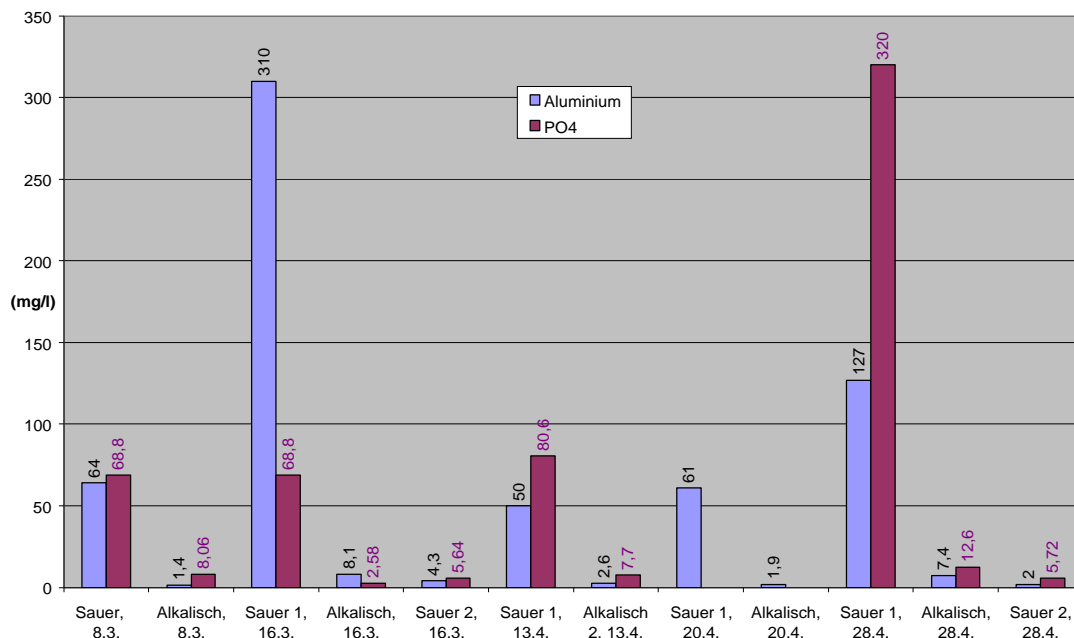


Abbildung 6-68 Aluminium und Phosphat in UO-Reinigungslösungen

Außerdem ist evident, dass Aluminium, obwohl amphoter, in der alkalischen Reinigungslösung nur noch in geringer Konzentration gelöst wurde. Es ist also der Schluss zulässig, dass zwar Aluminium auf der Membran angereichert wird, jedoch mit einfacher saurer Reinigung wieder zu entfernen ist.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

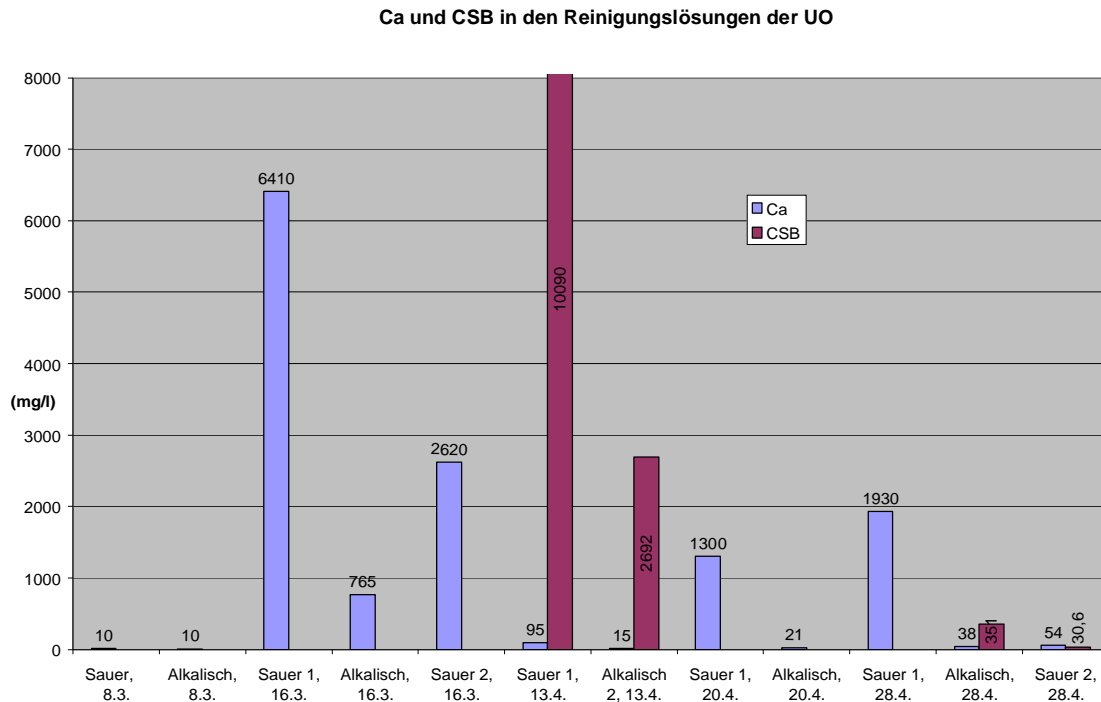


Abbildung 6-69 Calcium und CSB in UO-Reinigungslösungen

Beim Calcium wurde auch im zweiten sauren Reinigungsschritt einer dreistufigen Reinigung eine erhöhte Konzentration gefunden. Dies ist ein eindeutiger Hinweis, dass im ersten Schritt die calciumhaltige Ablagerung von der Membran nicht vollständig abgelöst wurde.

Die gemessenen CSB-Werte lassen keine reinigungstechnische Interpretation zu. Sie zeigen lediglich, dass Zitronensäure in der Reinigungslösung als CSB wiedergefunden wurde.

Anhand dieser Ergebnisse und des Permeabilitätsverlaufs (vgl. Abbildung 6-59) zeigte sich, dass ein Reinigungsintervall von 4 Tagen mit der hier getesteten Anordnung nicht überschritten werden kann ohne weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Belagbildung oder in Kaufnahme von Membranbelägen.

6.3.4.5 Ergebnisse Membranuntersuchung

Am Ende der Versuchsreihe wurde das Druckrohr der Umkehrosmose geöffnet und die Module wurden ausgebaut. Das nachfolgende Bild zeigt den Belag auf der Austrittseite des endständigen Moduls unmittelbar nach dem Ausbau.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit



Abbildung 6-70 Duraslick 8040 Modul nach mehr als 11-wöchigem Versuchsbetrieb

Die Einströmseite wies erheblich weniger, wenngleich ebenfalls deutlich erkennbaren Belag auf. Zur weiteren Untersuchung wurde das Modul einer Autopsie unterzogen. Es zeigte sich, dass auf der gesamten Fläche ein unregelmäßiger Belag vorhanden war.

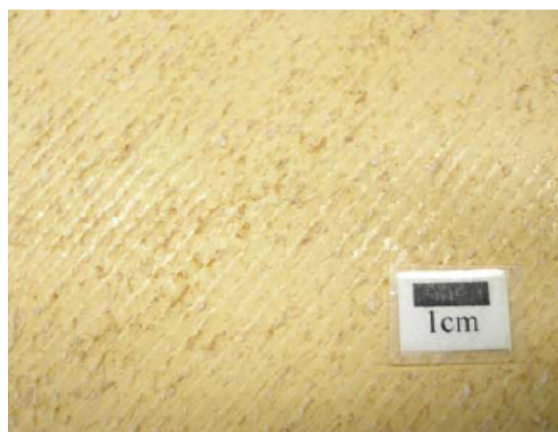


Abbildung 6-71 Membranautopsie: Oberfläche mit Belag /GE Infrastruktura 2006/¹⁰¹

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit



Abbildung 6-72 Membranautopsie: Oberfläche mit abgeschabtem Belag
/GE Infrastrukture 2006/

Die Struktur des Belags zeigt, dass die Reinigungen „Inseln“ übrig gelassen hatten, die sich dann weiter aufbauten. Dies wurde noch deutlicher durch die Rasterelektronenmikroskopaufnahmen.

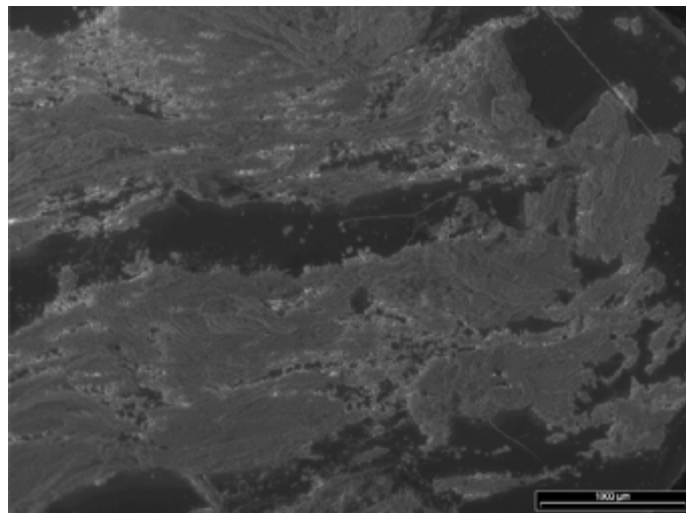


Abbildung 6-73 Belag im Rasterelektronenmikroskop 25fache Vergrößerung

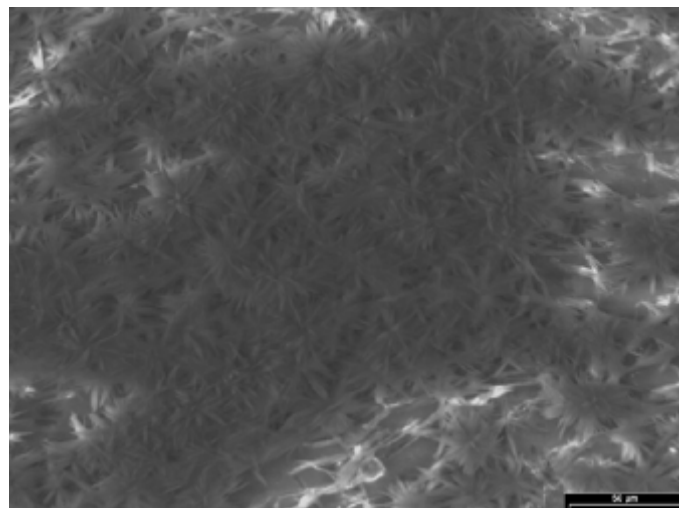


Abbildung 6-74 Belag im Rasterelektronenmikroskop 400fache Vergrößerung

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

In der 400fachen Vergrößerung waren nadelförmige, nicht organische Strukturen erkennbar. Diese fanden sich auch nach Dispergieren einer Belagprobe im Lichtmikroskop und lösten sich unter Säureeinwirkung auf.

Durch Glühverlustbestimmung und Rasterelektronenmikroskop-Energie-Dispersionsröntgenstrahl-Analyse konnte nachgewiesen werden, dass in der Asche des Belages >95 % Calcium und im Trockenrückstand rund 24% CO₂ enthalten war.

Weiterhin wurden Salze kurzkettiger organischer Säuren (Zitronensäure) nachgewiesen.

Andere anorganische und organische Inhaltstoffe spielten im Belag keine wesentliche Rolle.

Eine technisch relevante mikrobiologische Kontamination konnte nicht festgestellt, Mikroorganismen als Ursache für die Belagbildung konnten ausgeschlossen werden.

Es bleibt demnach festzuhalten, dass die Belagbildung im Wesentlichen durch CaCO₃ und Salze der Zitronensäure hervorgerufen war.

6.3.4.6 Resümee

Die Kombination von Mikrofiltration und Umkehrosmose zur Aufbereitung von Brauereiabwasser konnte über mehrere Monate erfolgreich getestet werden.

In der Mikrofiltration konnte stabil mit einem Fluss von 35 l/m²h gearbeitet und eine Trübung im Filtrat von rund 0,2 NTU erzielt werden. Die Trübung des Unfiltrates zeigte auch bei Anstieg >80 NTU keinen Einfluss auf die Filtrattrübung.

Die erzielte mittlere Permeabilität der Mikrofiltration lag bei 56 l/(m²*h*bar).

In der Umkehrosmose konnte mit einem Fluss von 9,2 l/m²h eine Steigerung im Vergleich zu früheren Versuchen um >100% erreicht werden. Die Permeabilität der Umkehrosmose lag bei 0,55 l/(m²*h*bar).

Die Verbesserung der Fluss- und Permeabilitätswerte konnte durch die Überströmung der UO-Membran (6-8facher Permeatvolumenstrom) und durch angepasste Reinigungs- und Spülprozesse erzielt werden.

Die chemische Analyse des Permeats nach TWVO 05/2001 erfüllte alle Anforderungen der TWVO an Trinkwasser.

Mikrobiologisch ist je nach Verwendungszweck eine stabilisierende Nachbehandlung notwendig.

Das getestete Anlagenkonzept ist für den industriellen Einsatz tauglich.

Für die Reinigungsprozedur und die Betriebsweise der Umkehrosmose sind aus den Ergebnissen noch Optimierungsansätze für einen industriellen Einsatz abzuleiten.

Hier kommen z. B. ein regelmäßiger Permeatausschub, eine saure Zwischenspülung mit anorganischer Säure, pH Regulierung im Zulauf der Umkehrosmose und die Verkürzung des Hauptreinigungsintervalls in Frage.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Firma GE-Infrastructure legte in Zusammenarbeit mit der Firma Pall-Wassertechnik auf Basis der Tests ein verhandlungsfähiges Angebot über eine Industrieanlage mit einer Permeatleistung von 8,5 m³/h vor.

6.4 Vergleich der Anlagenkonzepte

Aufgrund der hohen Belastung des Abwassers mit Salzen und Mikroorganismen konnte mit einstufigen Membrananlagen keine Verfahrensweise gefunden werden, mit der eine Aufbereitung von Brauereiabwasser unter wirtschaftlichen Bedingungen möglich war.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen für alle getesteten zweistufigen Anlagenkonzepte den Schluss zu, dass eine Aufbereitung von Brauereiabwasser unter wirtschaftlichen Bedingungen möglich ist.

Alle Tests mit zweistufigen Verfahren fanden hinsichtlich des Einsatzes von Flockungshilfsmittel in der Sedimentation unter gleichen Vorraussetzungen statt. Es wurde ein kurzketziges, wasserlösliches, kationisches Produkt der Firma VTA mit der Bezeichnung VTA 49E eingesetzt.

Die signifikanten Unterschiede liegen vor allem in der Filtrationsstufe. Die folgende Tabelle zeigt die wesentlichsten technischen Merkmale.

		Vergleich der getesteten Filtrationsmembranen		
		Keramikmembran	getauchte Hohlfaser- membran	Hohlfasermembran im Druckrohr
Kapitel		6.3.2	6.3.3 (u. 6.3.1)	6.3.4
Fluss	l/m ² h	125	35	40
Permeabilität	l/(m ² *h*bar)	50	400	56
Porenweite nominell	µm	0,05	0,1	0,1
Filtrattrübung	visuell	klar	klar	klar
	NTU	n. gemessen	0,1	0,2
Energie Verbrauch	kWh/m ³	2,1 Herstellerangabe	0,55 Herstellerangabe	1,6 gemessen
Reinigungsintervall		2 Wochen	8 Wochen	4 Wochen
Membranstandzeiten Herstellerangaben	Jahre	10	>3	>3

Tabelle 6-13 Vergleich der getesteten Filtrationsmembranen

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Eine vergleichende Aussage über die Reinigungsintensität kann hier aufgrund der langen Zeiträume zwischen den Tests nicht mehr gemacht werden.

Auch wenn nur vom Permeat einer Umkehrosmosemembran eine vollständige Analyse nach TVO gefertigt wurde, kann aufgrund der anderen gemessenen Parameter unterstellt werden, dass die chemischen Anforderungen von allen in Frage kommenden Umkehrosmosemembranen erfüllbar sind.

Die Festlegung auf ein Anlagen-/Membrankonzept muss demnach anhand der Rahmenbedingungen für die Implementierung in ein betriebliches Umfeld getroffen werden.

7. Entwicklung eines Gesamtkonzeptes

Nachdem in den vorstehenden Kapiteln dargestellt ist, dass verschiedene technische Möglichkeiten bestehen, Brauereiabwasser mit Membrantechnik so aufzubereiten, dass es wieder verwendet werden kann, gilt es hier, die verfahrenstechnische Einbindung in eine vorhandene Gesamtanlage zu konzipieren.

Durch die Entwicklung im Laufe der Pilotierungen, vgl. Kapitel 6, liegt zunächst die Verarbeitung des mit der vorhandenen Abwasseranlage endbehandelten Abwassers nahe.

Eine zweite Möglichkeit, die aus den Erkenntnissen der letzten beiden Pilotierungen folgt, wird in Kapitel 7.2 vorgestellt.

7.1 Zweistufige Membrananlage zur Aufbereitung von biologisch behandeltem, durch Sedimentation geklärtem Abwasser

In diesem Konzept wird das mit der vorhandenen Abwasseranlage endbehandelte Wasser in Analogie zu den Pilotierungen aus dem Klarlauf der Sedimentation entnommen und 2-stufig über Mikrofiltration oder Ultrafiltration und Umkehrosmosemembranen behandelt.

Um auch hygienisch alle Anforderungen zu erfüllen, ist die Behandlung des Permeats mit Chlordioxid vorgesehen, bevor es für die erneute Verwendung bereitgestellt wird.

Da und solange eine Verwendung des Permeats nur als Brauchwasser, d. h. ohne Kontakt zum Produkt, vorgesehen ist, kann auf zusätzliche Maßnahmen, die eine Geruchsbeeinträchtigung garantiert ausschließen, verzichtet werden.

Besondere Bedeutung für die dauerhafte Funktion liegt bei den Reinigungsprozeduren:

Neben den zyklischen Rückspülungen der Filtrationsmembran im laufenden Betrieb ist eine tägliche Spülung der Umkehrosmosemembran mit Permeat und Säurezusatz vorgesehen.

Alle 4-7 Tage ist eine kombinierte sauer-alkalische Reinigung vorgesehen. Dabei wird im sauren Behandlungsschritt nicht nur bis zum Erreichen eines zu wählenden End-pH Säure dosiert, sondern in Abhängigkeit des Leitwertes die Reinigungslösung verworfen und die Säuredosierung erneut gestartet. Dies wird so oft wiederholt bis die Geschwindigkeit der pH-Abnahme als Funktion der zugegebenen Säuremenge derjenigen der neuen, sauberen Membran entspricht.

Die Reinigung der Filtrationsmembran wird in Abhängigkeit des gemessenen Transmembrandrucks durchgeführt. Dabei ist ebenfalls eine kombinierte sauer-alkalische Reinigung vorgesehen. Auf Basis der Pilotierungsergebnisse wird mit 1 bis maximal 2 Reinigungen pro Monat für die Filtrationsmembran gerechnet.

Mit diesen Voraussetzungen liegt der Permeatfluss für die Kalkulation bei 15 l/m²h, der Filtratfluss bei >30 l/m²h.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

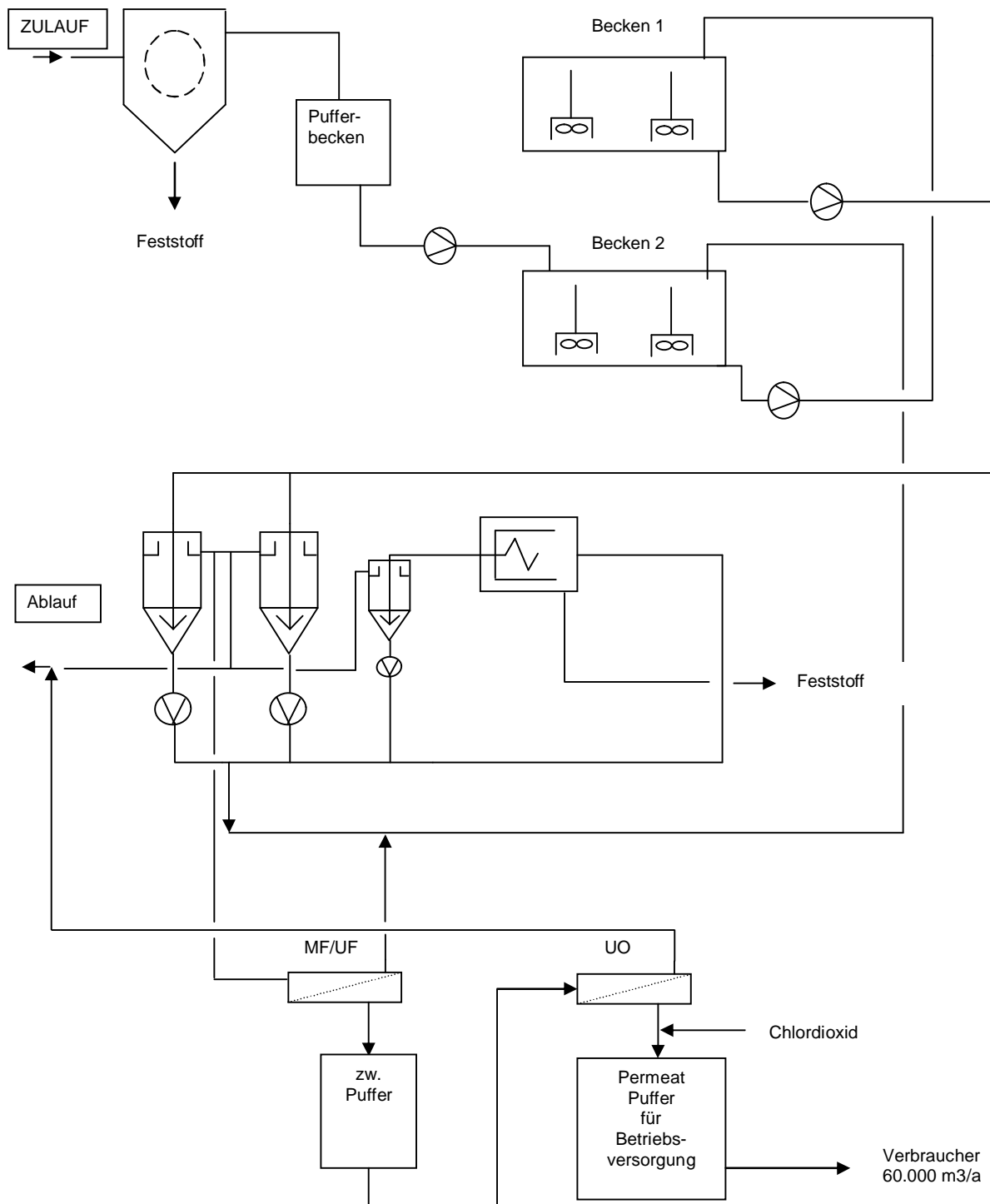


Abbildung 7-1 Verfahrensfliessbild Abwasserbehandlung mit zweistufiger Membranaufbereitung

Die vorstehende Abbildung zeigt die Einbindung der Aufbereitung mit 2-stufiger Membrananlage in das Verfahrensfliessbild der vorhandenen Abwasserbehandlung.

Das Retentat der Filtration wird in das Abwasserbehandlungsbecken zurückgeführt, das Retentat der Umkehrosmose zum Ablauf zur kommunalen Kläranlage geleitet.

Durch Vergrößerung der eingesetzten Membranfläche in beiden Stufen ist für dieses Konzept eine gute Erweiterbarkeit gegeben.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Das vorstehende Sankey-Diagramm integriert in den Ist-Zustand des Jahres 2005 des betrachteten Betriebes die Wasserströme der konzipierten Membrananlage als Projektion.

7.2 Zweistufige Membrananlage mit Option zum Membranbioreaktor

Aufgrund des Vergleichs der CSB-Analysenergebnisse zwischen Filtrat und Zulauf zur Filtrationsmembran (vgl. Kap 6.3.3.3 und 6.3.4.3.1) wurde die Sedimentation als zeitweise überlastete Schwachstelle der vorhandenen Abwasseranlage erkannt.

Die folgende Abbildung zeigt die ermittelten CSB-Werte in Zulauf, Filtrat und Permeat während der Pilotierung mit der Mikrofiltration im Druckrohr.

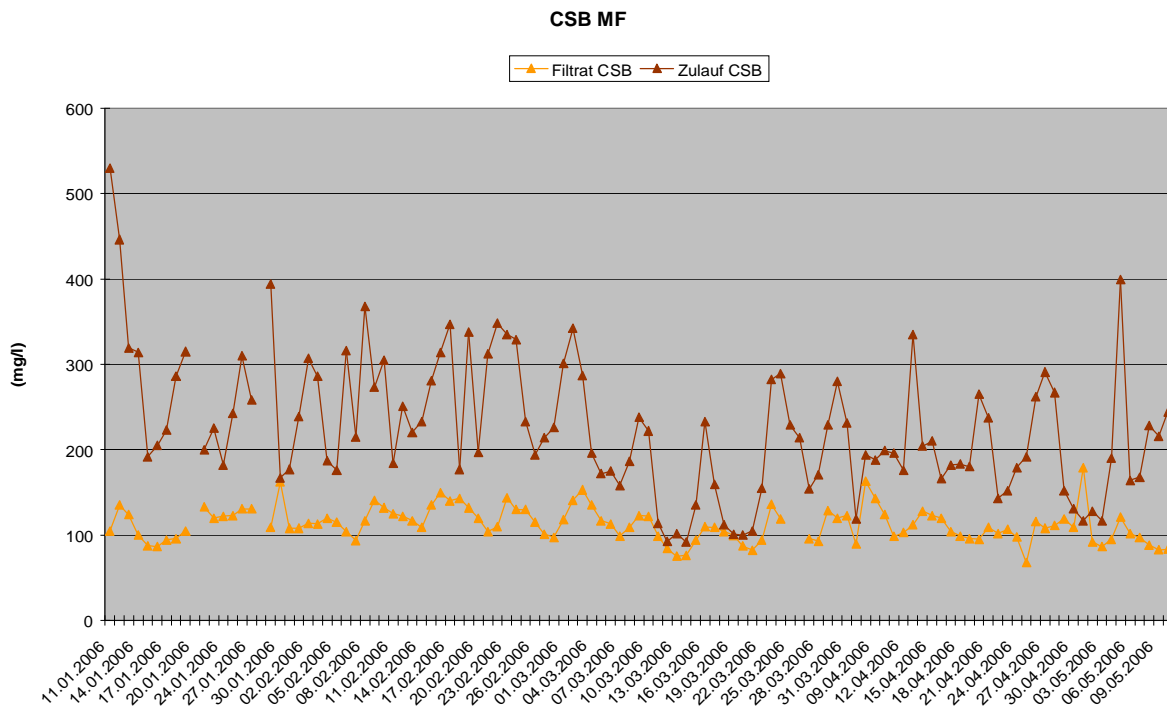


Abbildung 7-3 CSB Tagesanalysen Jan – Mai 2006

Die CSB-Reduktion durch die Filtration ist erklärbar durch Mikroorganismen und feine Partikel, die in der Sedimentation nicht abgetrennt werden konnten.

Erst die Beobachtung, dass an Tagen mit besonders niedrigem Durchsatz durch die Sedimentation Filtrat- und Zulauf-CSB annähernd gleich waren, z. B. zwischen 10. und 20.3.06, führte zu dem Schluss, dass die bekannten Schwankungen im CSB des Ablaufs der Abwasserbehandlung weniger auf unzureichenden biologischen Abbau als auf schlechte Abscheidung in der Sedimentation zurückzuführen sind.

Auf dieser Erkenntnis aufbauend wurde ein Konzept entwickelt, mit dem neben der Wasserrückgewinnung eine hydraulische Entlastung der Sedimentation erzielt werden kann und das in Stufen so ausbaufähig ist, dass die Abwasseranlage schließlich als Membranbioreaktor betrieben werden kann.

Die folgende Abbildung stellt das Verfahrensfliessbild der Konzeption mit den möglichen Erweiterungsstufen dar.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Für die Realisierung der ersten Stufe wurde im Juli 2006 der Auftrag zur Ausführung erteilt.

Im Endausbau soll die Sedimentation nur noch als Schlammverdickung und -ausschleusung genutzt werden, während das gesamte abzugebende Abwasser über die Ultrafiltration geklärt wird.

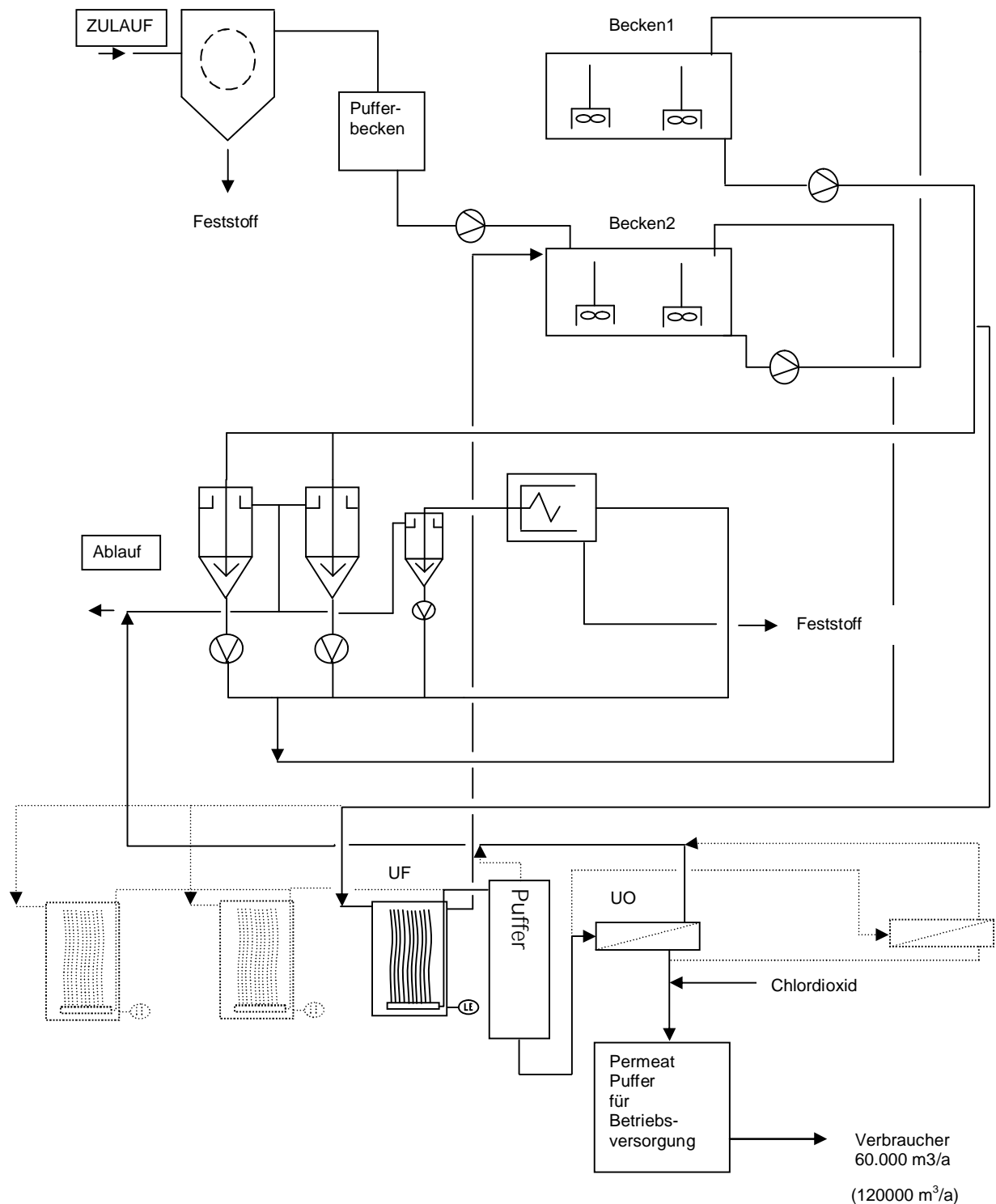


Abbildung 7-4 Verfahrensfließbild Abwasserbehandlung mit zweistufiger Membranaufbereitung, Erweiterungsmöglichkeit und optionalem Ausbau zum Membranbioreaktor

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Im Hinblick auf die Stickstoffelimination kann sich in dieser Betriebsweise die Notwendigkeit verfahrenstechnischer Anpassungen ergeben. Das Nitrifikationsverhalten und insbesondere die Denitrifikation bedürfen dabei der genaueren Untersuchung. Eine Anpassung der Belüftungs- und Belüftungspausendauer auf die sich neu einstellenden Verhältnisse ist als erste Maßnahme in Erwägung zu ziehen. Weiterhin ist die gezielte Zufuhr von Kohlenstoff als ergänzende Maßnahme möglich

Eine Rückkehr zum parallelen Betrieb der Becken ist ebenfalls denkbar, wenn die Sedimentation nicht mehr die Begrenzung für die Abwasserableitung darstellt (vgl. Kap 5.2). Eine abwechselnde Befüllung und Entleerung in Anlehnung an das SBR-Verfahren kann gleichermaßen in Erwägung gezogen werden.

Das Reinigungskonzept für die Membrananlagen entspricht dem in Kapitel 7.1 vorgestellten:

- zyklische Rückspülungen der Filtrationsmembran im laufenden Betrieb
- Reinigung der Ultrafiltrationsmembran nach Bedarf, d. h. bei Überschreitung des Grenzwertes für den Transmembrandruck
- tägliche Spülung der Umkehrosmosemembran mit Permeat und Säurezusatz
- nach 4-7d kombinierte sauer-alkalische Reinigung der Umkehrosmosemembran

Aufgrund der Erkenntnis, dass der Hauptanteil des Membranbelages auf der Umkehrosmosemembran während der Pilotierung CaCO_3 war (vgl Kapitel 6.3.4.5), wird im sauren Behandlungsschritt nicht nur bis zum Erreichen eines zu wählenden End-pH Säure dosiert, sondern in Abhängigkeit des Leitwertes die Reinigungslösung verworfen und die Säuredosierung erneut gestartet. Dies wird so oft wiederholt bis die Geschwindigkeit der pH-Abnahme als Funktion der zugegebenen Säuremenge derjenigen bei der neuen, sauberen Membran entspricht.

Die Reinigung der Filtrationsmembran wird in Abhängigkeit des gemessenen Transmembrandrucks durchgeführt. Dabei ist ebenfalls eine kombinierte sauer-alkalische Reinigung vorgesehen. Auf Basis der Pilotierungsergebnisse (Kapitel 6.3.3) wird mit 1 Reinigung pro Monat für die Filtrationsmembran gerechnet.

Die Filtration ist mit einem Fluss von $21 \text{ l/m}^2\text{h}$ kalkuliert, die Umkehrosmose mit $15\text{-}20 \text{ l/m}^2\text{h}$.

In der ersten Ausbaustufe entspricht die Stoffstromdarstellung dem Sankey-Diagramm unter Kapitel 7.1.

7.3 Einsatzmöglichkeiten von Recyclingwasser in einer Brauerei

Um zurück gewonnenes Wasser sinnvoll nutzen zu können, sind Verbraucher zu identifizieren deren Versorgung von Frischwasser- auf Brauchwasserversorgung umgestellt werden kann, wobei nicht nur technisch-technologische sondern auch rechtliche Aspekte zu berücksichtigen sind. (ggf. z. B. Anforderungen der Trinkwasserverordnung).

Eine Aufstellung möglicher Verwendungsfälle ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Verwendungsmöglichkeiten für Permeat aus der Wasserrückgewinnung

- Verdünnung von Natronlauge von Anlieferungs- auf Bevorratungskonzentration
- Hofreinigung, Fahrzeugwäsche
- Schmierung der Transportbänder in den Abfülllinien
- Abspülung von Bierresten von verschlossenen, frisch abgefüllten Gebinden
- Wärmeträger im Pasteur
- Kasten- und Fass-Außenreinigung
- Zusatzwasser für Verdunstungskühler
- Gefäßvorreinigung mit Laugezusatz
- ggf. nach weiterer Behandlung als Kesselspeisewasser
- Ansatz von Flockungshilfsmittel für die Schlammeindickung in der Abwasserreinigung

Tabelle 6-13 Beispiele für mögliche Wasserverwendung /Glas 2006/¹⁰²

Eine für den betrachteten Brauereibetrieb durchgeführte Quantifizierung der möglichen Verwendungsfälle ergab eine maximal verwendbare Menge an zurück gewonnenem Wasser von 124.000 m³/a.

7.4 Wasserströme unter maximaler Wiederverwendung von zurück gewonnenem Wasser

Geht man von den oben angegebenen 124.000 m³/a an maximal einsetzbarem Wasser aus Rückgewinnung und einer dauerhaft erzielbaren mittleren Ausbeute der Umkehrosmose von 50 % aus, ergibt sich mit der Realisierung eines MBR für den betrachteten Brauereibetrieb die technische Möglichkeit, den Wasserverbrauch auf die 1,8 fache Produktionsmenge zu reduzieren.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

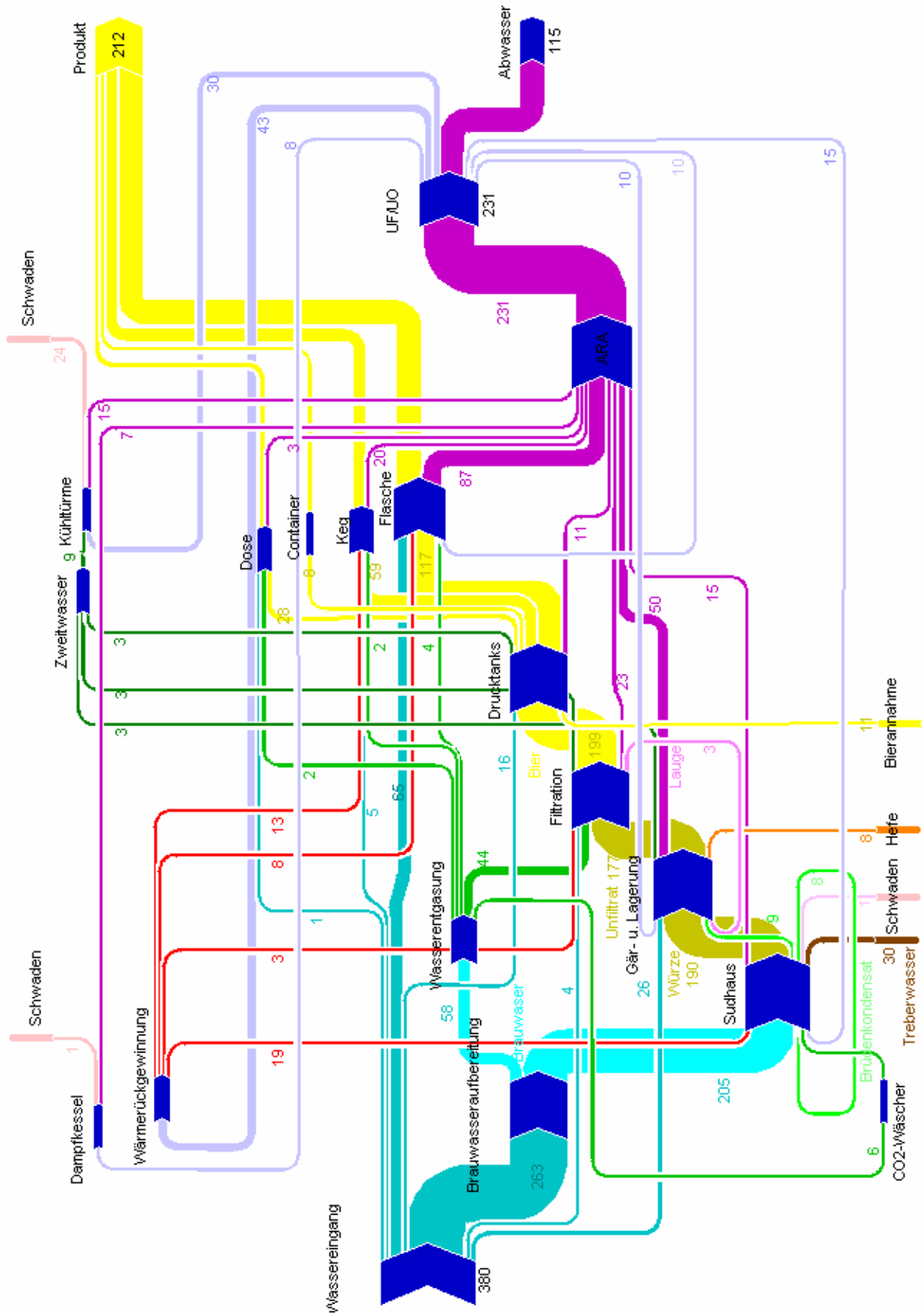


Abbildung 7-5 Sankey-Diagramm der Wasser- und Produktströme einer Brauerei mit MBR und Wasserrückgewinnung nach Ultrafiltration mit Umkehrosmose - Projektion

8. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Realisierung der ersten Stufe des in Kapitel 7.2 beschriebenen Konzepts basiert auf den folgenden Anlagendaten:

Anlagendaten	
Membranfläche Ultrafiltration	720 m ²
Filtratleistung	15 m ³ /h
Filtratfluss	21 l/m ² h
<hr/>	
Membranfläche Umkehrosmose	425 m ²
erweiterbar auf	638 m ²
Permeatleistung	8,5 m ³ /h
Permeatfluss	15-20 l/m ² h
Ausbeute Umkehrosmose	60 %
Verfügbarkeit	90 %

Tabelle 8-1 Daten der ausgeführten Anlage

Damit lassen sich pro Jahr bis zu 68.000 m³ wiederverwertbares Permeat gewinnen.

8.1 Nutzen und Aufwand

In der folgenden Aufstellung ist der aus der Anwendung der Membrantechnik in der ersten Ausbaustufe für den betrachteten Betrieb erwartete Nutzen aufgeführt.

Nutzen	
Frischwassereinsparung	68000 m ³ /a
Verbesserung Abwasserqualität (CSB, abs. Stoffe) geschätzt	100 Belastungseinheit
Abwassereinsparung	68000 m ³ /a
Kanalgebühr mengenabhängig	k. A.
Abwasserabgabe von Menge und Inhaltstoffen abhängig	k. A.
Einsparung Speisewasseraufbereitung (Regenerationen Ionentauscher / a)	12
Einsparung aus optimiertem Betrieb der Rückkühlwerke	
Manuelle Reinigung	380 h/a
Chemikalien	2000 kg/a

Tabelle 8-2 Nutzen des Einsatzes der Membrantechnik

Dem steht der Aufwand gegenüber, der für den Betrieb der Membrananlage erforderlich ist.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Aufwand		
Kapital	abhängig von Anlagenausführung und Verhandlung	
Membranersatz	Nutzungsdauer UF 3 a	Nutzungsdauer UO 2 a
Strom		265200 kWh/a
Bedienung		350 h/a
Instandhaltung ohne Membranersatz		100 h/a
Reinigungsmittel		
	Zitronensäure	90 l/a
	NaOCl	135 l/a
	NaOH	90 l/a
	HNO ₃	2500 l/a
Dosiermittel		
	Antiscalant	340 kg/a
	HCl 30 %	5000 kg/a
	CLO ₂	27,2 kg/a
Eigenwasserverbrauch		
	UF	180 m ³ /a
	UO	500 m ³ /a

Tabelle 8-3 Aufwand für den Einsatz der Membrantechnik

Aus der Aufstellung ergibt sich, dass Frischwasser und Abwasser auf der Nutzenseite und Strom neben dem Membranersatz auf der Aufwandseite die bestimmenden Größen sind.

Nach Bewertung der Einsparungen und Einsatzmengen mit den betriebsspezifischen Kosten lässt sich der Jahresüberschuss errechnen, mit dem die Investition amortisiert werden kann.

8.2 Kosten

Wasserbeschaffungs- und Abwasserentsorgungskosten für Brauereibetriebe in der betrachteten Größenordnung können im 7-stelligen Eurobereich liegen.

Die tatsächliche Höhe der Kosten ist stark von den Standort- und Betriebsgegebenheiten abhängig.

Die wirtschaftliche Beurteilung des entwickelten Aufbereitungskonzeptes ist demnach von zahlreichen Parametern beeinflusst, deren relevante Werte für die im betrachteten Betrieb getroffene Investitionsentscheidung aus Diskretionsgründen an dieser Stelle nicht genannt werden können.

Dazu zählen

- der Einstandspreis für Frischwasser,
- der Preis für die Abwasserentsorgung,
- der Preis für die bezogene elektrische Energie und
- der Preis der beauftragten Anlage sowie
- die spezifischen Membranersatzkosten.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Die Kosten für Reinigungschemikalien sind mit $0,04 \text{ €/m}^3$ Permeat kalkuliert.

Die Kosten für Dosierchemikalien liegen bei $0,18 \text{ €/m}^3$ Permeat.

Das Wasser für die Reinigungen der Umkehrosmembran wird aus dem gewonnenen Permeatstrom entnommen und liegt damit unter $0,01 \text{ €/m}^3$ bezogen auf das erzeugte Permeat.

8.3 Wirtschaftlichkeit beim Einsatz von Membrantechnologie

Bei der Durchführung des oben skizzierten Rechenganges ergibt sich für den betrachteten Betrieb und die beauftragte Anlage die Amortisationszeit wie in der folgenden Grafik veranschaulicht, wenn man die Frischwasserkosten als Variable und das Investitionsvolumen als Parameter wählt.

Für die Berechnung der Kapitalkosten liegt ein Kalkulationszins von 8 % und eine Nutzungsdauer von 10 Jahren zugrunde.

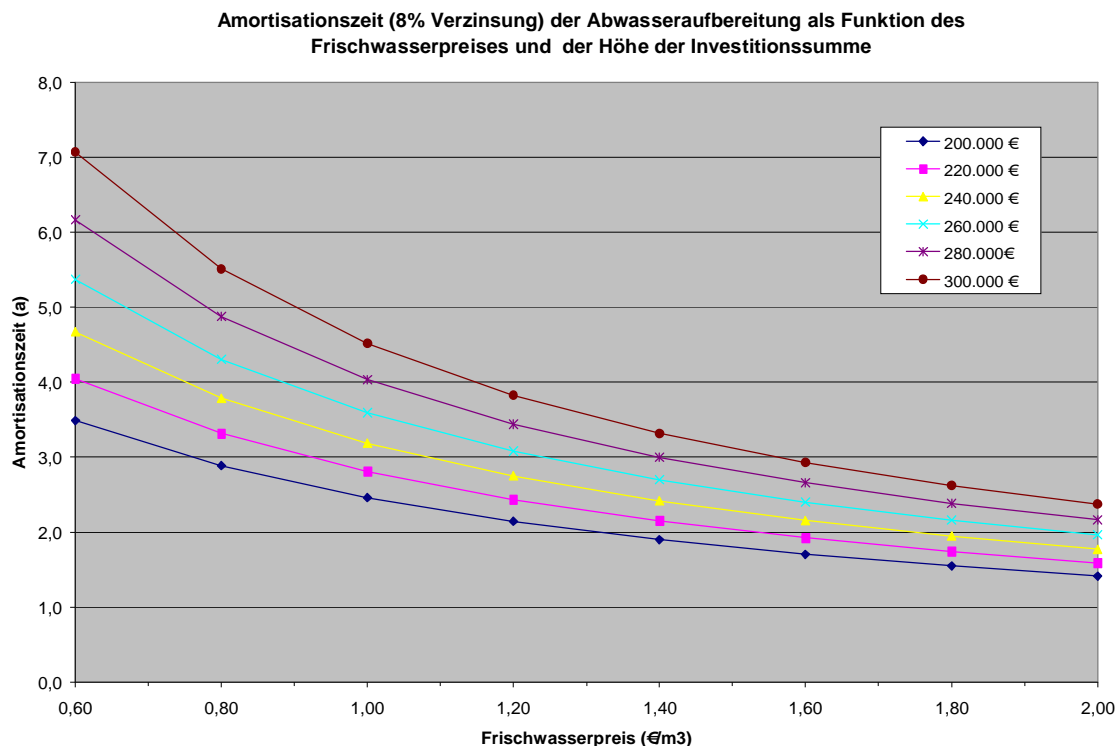


Abbildung 8-1 Dynamische Amortisationsdauer in Abhängigkeit von Frischwasserpreis und Investitionsvolumen für den betrachteten Brauereibetrieb

Für die weiteren Ausbaustufen und die Verwendung von mehr als 60.000 m^3 zurück gewonnenen Wassers sind noch zusätzliche Infrastrukturmaßnahmen erforderlich, deren Kosten noch nicht kalkuliert sind. Außerdem sollen Erfahrungen aus dem Betrieb der ersten Stufe in die Detailplanung integriert werden können. Darum kann über den in den Kapiteln 7.2 bis 7.4 beschriebenen erweiterten Projektierungsumfang noch keine verifizierbare Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt werden.

9. Benchmarks für Wassermanagement in der Brauindustrie und zukünftige Entwicklung

Galt in den neunziger Jahren des 20. Jahrhunderts bereits ein spezifischer Wasserverbrauch der 4-fachen Produktionsmenge als guter Wert, ist heute für Großbetriebe in Mitteleuropa eher von einem Faktor von 3,5 auszugehen./Groot Kormelinck 2003/¹⁰³

Die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit aber auch an anderen Orten bspw. Yatala, Australien /Browne 2005/¹⁰⁴ haben gezeigt, dass heute die Bierherstellung mit 2,4-fachen Wassereinsatz bezogen auf die Produktionsmenge praktikabel ist.

Die technische Möglichkeit, den Wasserverbrauch unter die 2-fache Produktmenge zu bringen, ist oben beschrieben.

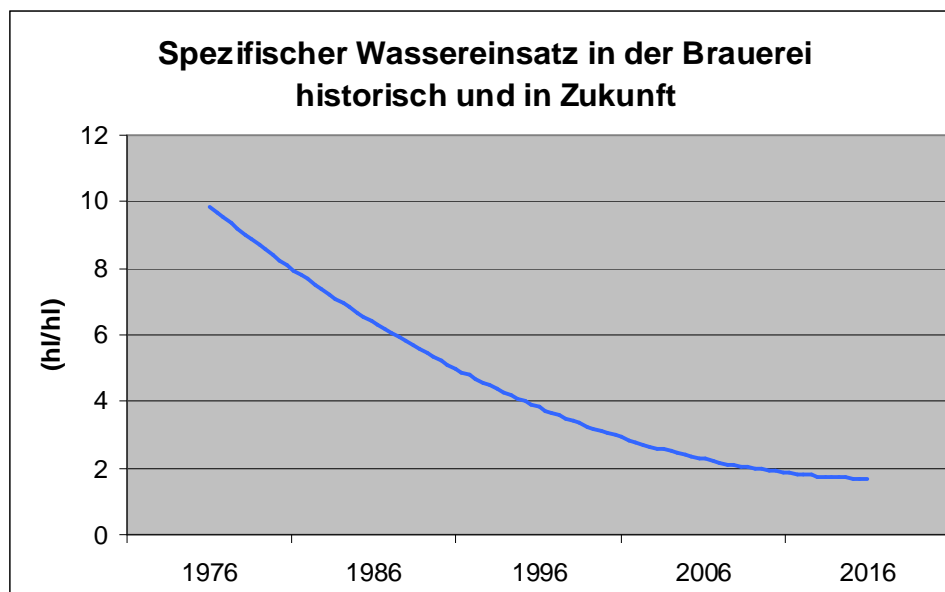


Abbildung 9-1 Spezifischer Wasserverbrauch der Brauerei historisch und in Zukunft

Inwieweit dies auch wirtschaftlich sinnvoll ist, hängt von den Betriebsgegebenheiten und der Entwicklung der Märkte für Wasserbeschaffung, Abwasserentsorgung und Energie ab und kann im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend beurteilt werden.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

10. Zusammenfassung und Ausblick

In einem Brauereibetrieb wurde die vorhandene Misch- und Ausgleichsbeckenanlage zu einer aeroben Abwasserreinigungsanlage weiterentwickelt. Die Betriebsführung der Abwasseranlage wurde auf die Erfordernisse, die aus der weiteren Aufbereitung entstanden, angepasst.

Ein- und zweistufige Membrananlagen wurden im Pilotversuch erprobt, ein Reinigungskonzept entwickelt und die gewonnenen Filtrate und Permeate analytisch untersucht. Dabei stellten sich die zweistufigen Anlagen und die Kissenmodul-Umkehrosroseanlage als technisch einsetzbar heraus. Die Permeate entsprachen im Hinblick auf die chemisch-physikalischen Eigenschaften in den Untersuchungen den Anforderungen an Trinkwasser. Mikrobiologisch ist für die Erreichung von Trinkwasserqualität noch eine Nachbehandlung erforderlich.

Keramische Ultrafiltration, getauchte Ultrafiltration und Druckrohr-Mikrofiltration waren technisch gleichermaßen geeignet für die Verarbeitung von Wasser aus der Klarphase der Sedimentation der Abwasserbehandlung als Vorbehandlung für die Umkehrosrose.

Durch die Behandlung des Abwassers direkt aus dem Behandlungsbecken und mit der MBR-Technologie lassen sich jedoch weitere Vorteile erzielen, so dass im betrachteten Betrieb eine Investitionsentscheidung zugunsten der Technologie getroffen wurde, die zum MBR ausgebaut werden kann. Hier hätte sicherlich als technische Alternative auch ein Side stream MBR Wehrle 2006/¹⁰⁵ in Erwägung gezogen werden können. Eine weitere Pilotierung war jedoch aus Zeitmangel nicht mehr möglich.

Wo Abwasser bereits mit MBR-Technologie gereinigt wird, liegt damit die Weiterführung der Aufbereitung mit Membrantechnik bis zur Wiederverwendung nahe. Wo die Abwasserreinigung grundsätzlich überdacht wird, stellt sich die MBR-Technologie insbesondere im Nebenstrom als interessante Option mit der Möglichkeit zur Wasserrückgewinnung dar.

Im Hinblick auf die Reinigungsfähigkeit der Umkehrosrosemembranen wäre es aus Sicht der gesammelten Erfahrungen mit der Rückspültechnik bei den Filtrationsmodulen wünschenswert, wenn sich in Zukunft auch rückspülfähige Umkehrosrosemembranen im Preissegment der heute verfügbaren Wickelmodule etablieren könnten. Auch könnten Versuche mit Kissenmodulen und vorgeschalteter Ultrafiltration von Interesse sein, wenn sich bei der Verarbeitung von Ultrafiltrat ein entsprechend hoher Fluss und eine bessere Reinigungsfähigkeit der Umkehrosrose unter Beweis stellen ließe.

11. Formelzeichen

A	Fläche
A	Membrankonstante der Porenmembran
A*	Membrankonstante der Lösungsdiffusionsmembran
C	Konzentration
Lf	Leitfähigkeit
P	Druck
\dot{Q}	Fluss
R	Rückhalt
T	Temperatur
TMP	Transmembrandruck
\dot{V}	Volumenstrom
W	Massenanteil
δ	Membrandicke (Delta)
ΔP	Differenzdruck (Delta P)
ε	Porosität (Epsilon)
η	dynamische Viskosität (Eta)
ξ	Permeabilität (Xi)
π	osmotischer Druck (Pi)
τ	Umwegfaktor (Tau)
Φ	Ausbeute (Phi)

12. Indizes und Symbole

i	Bezeichnung für eine Komponente
F	Feed
K	Konzentrat
P	Permeat
W	Wasser

Ⓞ FE	Volumenstrommessung (Flow Element)
Ⓞ FI	Volumenstromanzeige (Flow Indikator)
Ⓞ FITC	Volumenstromanzeige, Transmitter und Regler (Flow indicator controller)
Ⓞ LE	Niveaumessung (Level Element)
Ⓞ LF	Leitfähigkeitsmessung
Ⓞ LS	Niveauschalter (Levelswitch)
Ⓞ NTU	Trübungsmessung
Ⓞ PE	Druckmessung (Pressure Element)
Ⓞ PI	Druckanzeige (Pressure indicator)
Ⓞ PIC	Druckregler (Pressure indicator controller)
Ⓞ PS	Druckschalter (Pressure switch)
Ⓞ PIT	Drucktransmitter (Pressure indicator transmitter)
Ⓞ PITC	Druckregler Transmitter (Pressure indicator transmitter controller)
Ⓞ TE	Temperaturmessung (Temperature Element)
Ⓞ TIC	Temperaturregler (Temperature indicator controller)

13. Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Al	Aluminium
ARA	Abwasserreinigungsanlage
Ba	Barium
BKKS	Braunkohlekoksstaub
bspw.	beispielsweise
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf 5 Tage
Ca	Calcium
cm	Zentimeter
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
d	Tag
°dH	Grad deutsche Härte
€	Euro
F	Fluor
Fe	Eisen
hl	Hektoliter
k. A.	keine Angabe
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
m	Meter
Mn	Mangan
MBR	Membranbioreaktor
MF	Mikrofiltration
mg	Milligramm
mS	Millisiemens
µm	Mikrometer
µS	Mikrosiemens
N	Stickstoff
NDRO	Niederdruckumkehrosmose
N-ges	Gesamtstickstoff
NH ₄	Ammonium
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
NO ₃	Nitrat
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
NO ₂	Nitrit
NO ₂ -N	Nitrit-Stickstoff
NTU	Trübungseinheit (Nephelometric Turbidity Unit)
O	Sauerstoff
P	Phosphor
PO ₄ -P	Phosphat-Phosphor
% Vol	Volumenprozent
SBR	Sequencing Batch Reactor
Si	Silizium
SO ₄	Sulfat
TOC	Total organic Carbon
TKN	Gesamt Kjeldahl-Stickstoff
TS	Trockensubstanz
TWVO 2001	Trinkwasserverordnung 2001
UF	Ultrafiltration
UO	Umkehrosmose

14. Abbildungsverzeichnis

- 3-1 Sankey-Diagramm der Wasser und Produktströme einer Brauerei 1996
- 3-2 Die wichtigsten Wasserarten in der Brauerei
- 3-3 Sankey-Diagramm der Wasser und Produktströme einer Brauerei 2005

- 4-1 Vereinfachtes Fließbild Gesamtanlage nach MUNLV
- 4-2 Pall Membranfiltration in secondary effluent
- 4-3 Blockfließbild Abwasserbehandlung Yatala Brauerei
- 4-4 Abwasseranlage mit BIOPAQ-IC[®]- und CIRCOX[®]-Reaktor
- 4-5 Schema der Pilotanlage nach Walter
- 4-6 "End of Pipe"-Lösung
- 4-7 Verfahrensschema dreistufige Abwasseraufbereitung mit Membrantechnik

- 5-1 Misch- und Ausgleichsbecken Stand 1996
- 5-2 Verfahrensschema Festbettreaktor
- 5-3 BSB vor und nach dem Festbett
- 5-4 Ammoniumstickstoff – NH₄-N
- 5-5 CSB vor und nach Festbettreaktor
- 5-6 Abbauleistung und Volumenstrom im Festbettreaktor
- 5-7 Analysendaten Festbettreaktor
- 5-8 Schlammkonzentration am Reaktorauslauf und Volumenstrom
- 5-9 Differenzdrehzahl in Abhängigkeit der Feststoffzufuhr
- 5-10 Abwasserreinigungsanlage Stand 1999
- 5-11 Abwasseranlage mit Reihenbetrieb der Becken
- 5-12 Veränderung der Abwasserkenngroßen 1996-2001
- 5-13 Dunkelfeldaufnahme Abwasser 400fache Vergrößerung
- 5-14 Abbauleistung der Abwasserreinigungsanlage 2001
- 5-15 Massenhaftes Auftreten kleiner Mikroorganismen nach Belastungsspitze
- 5-16 Hefen im Abwasser, 400fache Vergrößerung im Dunkelfeld
- 5-17 Betriebsdaten Mai 2002 Sauerstoffmangel in Folge hoher Belastung
- 5-18 Betriebsdaten der ARA nach Umsetzung der Stabilisierungsmaßnahmen
- 5-19 Abwasserreinigung mit Schlammrückführung und Zentralklärung
- 5-20 Veränderung der Abwasserkenngroßen 2001-2005
- 5-21 Abbauleistung ARA 2005 im Vergleich zu 2001
- 5-22 Wasser und Produktionsmengen 1996 / 2005
- 5-23 Freie Bakterien, einzelne kurze Bakterienfilamente
- 5-24 Abwasserkenngroßen Veränderung durch Belastungsstoß aus Mittelwerten
- 5-25 Thermophiler Ciliat 400fach
- 5-26 Vorticella Convallaria 200fach
- 5-27 Opercularia Aquadulcis 400fach
- 5-28 Paramecien 200fach
- 5-29 Euplotes Sp. 200fach
- 5-30 Rotaria 200fach

- 6-1 Verfahrensfließbild der Imecon Pilotanlage
- 6-2 Permeatvolumenstrom verschiedener Membranen
- 6-3 Permeabilitäten verschiedener Membranen zu Beginn der Versuche
- 6-4 Permeatvolumenstrom zweier SG Membranen
- 6-5 Permeabilität der SG-4040-F Membran mit steigender Einsatzdauer
- 6-6 Ionenrückhalt der SG-4040-F Membran

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

- 6-7 CSB Zulauf und Permeat
- 6-8 R&I Fließbild IVT-Pilotanlage
- 6-9 Permeatfluss verschiedener Prozessvarianten
- 6-10 CSB im Zulauf und Permeat des FM-Moduls
- 6-11 Rückhalt des FM-Moduls der untersuchten Inhaltstoffe
- 6-12 Modulsegment mit Membranbelag nach 5 Testläufen
- 6-13 Modulsegment am Ende der Tests nach Reinigung
- 6-14 Permeatfluss im Testzellenversuch nach verschiedenen Reinigungen
- 6-15 Anfänglicher Permeatfluss nach alkalisch-oxidativen Reinigungen
- 6-16 Fließbild der ZenoGem[®]-Anlage mit nachgeschalteter Umkehrosmose
- 6-17 CSB vor und nach MB-Reaktor
- 6-18 Kjeldahlstickstoff vor und nach MBR
- 6-19 Nitrat vor und nach MB-Reaktor
- 6-20 Phosphat vor und nach MB-Reaktor
- 6-21 Abbauleistung MBR
- 6-22 Zenon Umkehrosmose Volumenströme bei 21bar
- 6-23 Zenon Umkehrosmose Leitfähigkeiten bei 21bar
- 6-24 Zenon Umkehrosmose Volumenströme bei 35bar
- 6-25 Zenon Umkehrosmose Leitfähigkeiten bei 35bar
- 6-26 MDS Keramische Ultrafiltration mit Umkehrosmose
- 6-27 Betriebsdaten Ultrafiltration Auszug aus Phase 1
- 6-28 Analysenergebnisse Phase 1 - Permeat
- 6-29 CSB und pH - Analysenergebnisse Phase 1 - Permeat
- 6-30 Rückhalt der Umkehrosmose in Phase 1
- 6-31 Betriebsdaten Ultrafiltration Auszug aus Phase 2
- 6-32 Phase 2 Permeatvolumenstrom (10 bar)
- 6-33 Permeatanalysen Phase 2
- 6-34 Rückhalt Umkehrosmose Phase 2
- 6-35 Natrium im Rohwasser und im Permeat
- 6-36 Puron[®]-Ultrafiltration 2006 Fließbild
- 6-37 Filtratvolumenstrom Puron[®]-Ultrafiltration
- 6-38 Systemvolumenströme Versuchsphase 1
- 6-39 Fluss und Transmembrandruck Versuchsphase 1
- 6-40 Permeabilität, Fluss und Temperatur Versuchsphase 1
- 6-41 Trübung Versuchsphase 1
- 6-42 CSB, Leitfähigkeit und Natrium Mittelwerte Phase 1
- 6-43 CSB Verlauf Phase 1
- 6-44 pH, Gesamtstickstoff und Ionenanalytik Phase 1
- 6-45 Permeabilität und Fluss Versuchsphase 2 - Überlastungsversuch
- 6-46 Fluss und Permeabilität vor und nach Reinigung der Puron[®]-Membran
- 6-47 Fließbild getauchte Ultrafiltration mit Umkehrosmose
- 6-48 Fließbild Mikrofiltration und Umkehrosmose GE-Pall
- 6-49 Betriebsdaten Mikrofiltration mit Pall-Mikroza-Modul[®] Dez. 2005
- 6-50 Trübung Zulauf und Filtrat
- 6-51 Analysenergebnisse Mikrofiltration (Mittelwerte Dezember 2005)
- 6-52 CSB Verlauf Mikrofiltration
- 6-53 Betriebsdaten Mikrofiltration mit Pall-Mikroza-Modul[®] Jan bis Mai 2006
- 6-54 Betriebsdaten Umkehrosmose mit Duraslick 8040[®] Modulen Jan -Mai
- 6-55 Differenz- und Zulaufdruck Umkehrosmose
- 6-56 Wochenverlauf Umkehrosmose mit Duraslick 8040[®] Modulen im März
- 6-57 Wochenverlauf Umkehrosmose mit Duraslick 8040[®] Modulen im April

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

- 6-58 Permeabilität Umkehrosmose 9.3.-16.3.06 und 13.4.-20.4.06
- 6-59 CSB im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006
- 6-60 Leitfähigkeit und Natrium im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan–Mai 2006
- 6-61 PO₄-P im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006
- 6-62 pH im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006
- 6-63 Gesamtstickstoff im Zulauf , Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006
- 6-64 Nitrat im Zulauf, Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006
- 6-65 Nitrit im Zulauf, Filtrat und Permeat Jan –Mai 2006
- 6-66 Rückhalt der untersuchten Inhaltstoffe – Mittelwerte März-Mai 2006
- 6-67 Sättigung bei Verwendung von Hypersperse MDC150
- 6-68 Aluminium und Phosphat in UO-Reinigungslösungen
- 6-69 Calcium und CSB in UO-Reinigungslösungen
- 6-70 Duraslick 8040 Modul nach mehr als 11-wöchigem Versuchsbetrieb
- 6-71 Membranautopsie: Oberfläche mit Belag
- 6-72 Membranautopsie: Oberfläche mit abgeschabtem Belag
- 6-73 Belag im Rasterelektronenmikroskop 25fache Vergrößerung
- 6-74 Belag im Rasterelektronenmikroskop 400fache Vergrößerung

- 7-1 Verfahrensfliessbild Abwasserbehandlung mit zweistufiger Membranaufbereitung
- 7-2 Sankey-Diagramm der Wasser und Produktströme einer Brauerei mit Wasserrückgewinnung mit kombinierter Ultrafiltration und Umkehrosmose
- 7-3 CSB Tagesanalysen Jan – Mai 2006
- 7-4 Verfahrensfliessbild Abwasserbehandlung mit zweistufiger Membranaufbereitung, Erweiterungsmöglichkeit und optionalem Ausbau zum Membranbioreaktor
- 7-5 Sankey-Diagramm der Wasser und Produktströme einer Brauerei mit MBR und Wasserrückgewinnung nach Ultrafiltration mit Umkehrosmose - Projektion

- 8-1 Dynamische Amortisationsdauer in Abhängigkeit von Frischwasserpreis und Investitionsvolumen für den betrachteten Brauereibetrieb

- 9-1 Spezifischer Wasserverbrauch der Brauerei historisch und in Zukunft

15. Tabellenverzeichnis

- 3-1 Anteile am Wasserverbrauch einer Brauerei 2001
- 4-1 Abwasserdaten einer süddeutschen Brauerei nach biologischer Vorbehandlung
- 5-1 Misch und Ausgleichsbecken technische Daten 1996
- 5-2 Misch und Ausgleichsbecken Betriebsdaten 1996
- 5-3 Abwasserparameter Misch und Ausgleichsbecken 1996
- 5-4 Reinigungsziele biologische Abwasserreinigung
- 5-5 Abwasserkenngößen 2001
- 5-6 Betriebsdaten ARA 2005 - Mittelwerte
- 5-7 Datenvergleich Abwasserkenngößen vor und nach Belastungsstoß

- 6-1 Untersuchte Parameter Spiralwickelmodul
- 6-2 Messwerte NDRO
- 6-3 Untersuchte Parameter FM-Modul-Umkehrosmose
- 6-4 Vergleichsanalyse ausgewählter Inhaltstoffe Zulauf und Permeat Zenon Umkehrosmose (RO)
- 6-5 Untersuchte Parameter keramische Ultrafiltration mit Umkehrosmose
- 6-6 CSB –Werte in der Phase 2
- 6-7 Untersuchte Parameter Ultrafiltration mit getauchten Polymermembranen
- 6-8 Analysen-Auslegungsdaten Abwasser und Ultrafiltrat
- 6-9 Untersuchte Parameter Mikrofiltration und Umkehrosmose
- 6-10 Stichprobenanalytik Mikrofiltration und Umkehrosmose
- 6-11 Ionen im Permeat unterhalb der Bestimmungsgrenze
- 6-12 Reinigungsmittel und -Termine der Umkehrosmosemembranen
- 6-13 Vergleich der getesteten Filtrationsmembranen

- 8-1 Daten der ausgeführten Anlage
- 8-2 Nutzen des Einsatzes der Membrantechnik
- 8-3 Aufwand für den Einsatz der Membrantechnik

16. Literaturverzeichnis

- ¹ Kunze, Wolfgang, Technologie Brauer und Mälzer, 8.Auflage, Berlin, 1998,
- ² Browne, Phil, The Brewer & Destiller, March 2005, Volume 1, Issue3, www.ibd.org.uk ,
- ³ Birkenstock, Bernd, Die neue Kläranlage der Licher Privatbrauerei, Brauwelt 1996, Nr. 1/2
- ⁴ Rosenwinkel, K.-H., Abwasserbehandlung in der Getränkeindustrie, ATV-Seminar für die Abwasserpraxis vom 11.-12.10.1990, TA Esslingen
- ⁵ Nitzsche, F., Firmenauskunft König-Brauerei, 2006
- ⁶ Walter, S., Untersuchung verfahrenstechnischer Möglichkeiten zur Brauchwasserkreislaufführung in der Brauerei, München, 2005, S. 99
- ⁷ Geiger, E. et al, Reduzierung des Wasserverbrauchs in der Brauerei, Der Weihenstephaner 3/2002
- ⁸ SDraw 2006 ...
- ⁹ Walter, S., Untersuchung verfahrenstechnischer Möglichkeiten zur Brauchwasserkreislaufführung in der Brauerei, München, 2005, S. 7
- ¹⁰ Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21.Mai 2001, Anlagen 1-3
- ¹¹ Tanish, R. A. and Rudman, A. R: Practical techniques an methods to develop an efficient water management strategy, Paper presentet at IQPC-conference „Water Recycling and Effluent re-use“,1999
- ¹² Glas, K. , Wassermanagement in der Brauwirtschaft, Vortrag technologisches Seminar Weihenstephan, 2006
- ¹³ Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Hrsg., Membrantechnik in der industriellen Abwasserreinigung 2003, S.106
- ¹⁴ Lederer, S. Firmenauskunft Durst-Malz, 2006
- ¹⁵ Klee, B. Firmenauskunft Durst-Malz, 2006
- ¹⁶ Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Hrsg., Membrantechnik in der industriellen Abwasserreinigung 2003, S.106-107
- ¹⁷ Lederer, S. Firmenauskunft Durst-Malz, 2006
- ¹⁸ Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Hrsg., Membrantechnik in der industriellen Abwasserreinigung 2003, S.106-107
- ¹⁹ Browne, Phil, The Brewer & Destiller, March 2005, Volume 1, Issue3, S. 14
www.ibd.org.uk
- ²⁰ Maurer, C., Pall Corporation, Firmenauskunft 2006
- ²¹ Merange, G., CUB, Firmenauskunft 2006
- ²² Pall Corporation, CUB Yatala Membranfiltration in secondary effluent, Firmenpräsentation 2006
- ²³ Browne, Phil, The Brewer & Destiller, March 2005, Volume 1, Issue3, S. 20
www.ibd.org.uk
- ²⁴ Browne, Phil, The Brewer & Destiller, March 2005, Volume 1, Issue3, S. 20-21
www.ibd.org.uk
- ²⁵ Walter, S., Untersuchung verfahrenstechnischer Möglichkeiten zur Brauchwasserkreislaufführung in der Brauerei, München, 2005
- ²⁶ Groot Kormelinck, V., Optimierte Abwasserreinigung in Brauwelt 36/37 2003, S. 1125
- ²⁷ Walter, S., Untersuchung verfahrenstechnischer Möglichkeiten zur Brauchwasserkreislaufführung in der Brauerei, München, 2005, S136
- ²⁸ Walter, S., Untersuchung verfahrenstechnischer Möglichkeiten zur Brauchwasserkreislaufführung in der Brauerei, München, 2005, S137
- ²⁹ Walter, S., Untersuchung verfahrenstechnischer Möglichkeiten zur Brauchwasserkreislaufführung in der Brauerei, München, 2005, S186

- ³⁰ Walter, S., Untersuchung verfahrenstechnischer Möglichkeiten zur Brauchwasserkreislaufführung in der Brauerei, München, 2005, S186-191
- ³¹ Glas, K., Wassermanagement in der Brauwirtschaft, Vortrag technologisches Seminar Weihenstephan, 2006
- ³² Pinnekamp, J., Friedrich, H., Hrsg., Membrantechnik für die Abwasserreinigung, Aachen 2003, S. 191
- ³³ Pinnekamp, J., Friedrich, H., Hrsg., Membrantechnik für die Abwasserreinigung, Aachen 2003, S. 191-192
- ³⁴ Tanish, R. A. and Rudman, A. R: Practical techniques and methods to develop an efficient water management strategy, Paper presented at IQPC-conference „Water Recycling and Effluent re-use“, 1999
- ³⁵ Henßen, G., Kostenoptimale Gestaltung von Stoffaustauschernetzwerken mit Hilfe der erweiterten Wasser-Pinch-Methode, Aachen, 2004
- ³⁶ ABS Firmenprospekt, 1997, 2.7110 D 01.97
- ³⁷ Randschau, W., König-Brauerei Firmenauskunft, 1997/2005
- ³⁸ Randschau, W., König-Brauerei Firmenauskunft, 1997/2005
- ³⁹ Hosang/Bischof, Abwassertechnik, Leipzig, 1998, S. 4
- ⁴⁰ Chromik, R., Bericht zur Studie Abwasserreinigung, Firmenauskunft, 1996
- ⁴¹ Bever, J., Konzeption Feststoffabtrennung, Auftragsbericht, 1996
- ⁴² Stadler, J., Firmenauskunft König-Brauerei, 2006
- ⁴³ Bever, J., Konzeption Feststoffabtrennung, Auftragsbericht, 1996
- ⁴⁴ Alfa-Laval, Technische Dokumentation Dekanter AVNX 418, 1999
- ⁴⁵ Ciba Spezialitätenchemie, Water Treatments, Produktinformationen, 1998
- ⁴⁶ Schönecker, A., Mikrobiologisches Labor König-Brauerei, Firmendokument, 2002
- ⁴⁷ Schönecker, A., Mikrobiologisches Labor König-Brauerei, Firmendokument, 2002
- ⁴⁸ Schönecker, A., Mikrobiologisches Labor König-Brauerei, Firmendokument, 2002
- ⁴⁹ Nitzsche, F., Produktionsleitung König-Brauerei, Firmenauskunft, 2003
- ⁵⁰ Fölsche, H., Heinrich Frings GmbH, Firmenauskunft, 2004
- ⁵¹ De Vries, H., VTA Anwendungsberatung, Firmenauskunft, 2004
- ⁵² Hosang /Bischof, Abwassertechnik, Leipzig, 1998, S. 646
- ⁵³ De Vries, H. VTA Anwendungsberatung, Firmenauskunft, 2005
- ⁵⁴ Ettl, M., VTA Anwendungsberatung, Mikrobiologische Protokolle, Firmenauskunft, 2004
- ⁵⁵ Ettl, M., Protokoll – Mikrobiologisches Bild, 13.10.2003, Untersuchungsbericht
- ⁵⁶ Ettl, M., Protokoll – Mikrobiologisches Bild, 14.07.2003, Untersuchungsbericht
- ⁵⁷ Ettl, M., Mikroskopische Analyse Zusammenfassung, Firmenauskunft, 2002
- ⁵⁸ Ettl, M., Protokoll – Mikrobiologisches Bild, 17.03.2003, Untersuchungsbericht
- ⁵⁹ Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg, 2004
- ⁶⁰ Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg, 2004, S. 5
- ⁶¹ Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg, 2004, S. 6
- ⁶² Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg, 2004, S. 441
- ⁶³ Joss, A., Permeabilität und chemische Reinigung von Membranen in Membrantechnik, Tagungsband zur 5. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik, 2003, S. A23-4
- ⁶⁴ Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg, 2004, S. 255
- ⁶⁵ Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg, 2004, S. 78ff
- ⁶⁶ Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg 2004, S. 77
- ⁶⁷ Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg 2004, S. 78
- ⁶⁸ Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg 2004, S. 89
- ⁶⁹ Melin, T., Rautenbach, R., Membranverfahren, Berlin Heidelberg 2004, S. 247-253
- ⁷⁰ Kiefer, J., Imecon AG, Abtwil, Firmenauskunft, 2001
- ⁷¹ Melin, T., Lyko, S., Hochschulkurs Membranprozesse – Anlagenentwurf Modulanordnung, Aachen 2004, S. 3
- ⁷² Kiefer, J., Imecon AG, Abtwil, Zwischenbericht Projekt Wasserrecycling, Firmenauskunft, 2001, S. 3-7

- ⁷³ Kiefer, J., Imecon AG, Abtwil, Abschlussbericht Projekt Wasserrecycling, Firmenauskunft, 2001, S. 5
- ⁷⁴ Lay, C., Untersuchungen zur Abwasserrückgewinnung mittels Membranverfahren, RWTH Aachen Diplomarbeit 2002, S. 43
- ⁷⁵ Lay, C., Untersuchungen zur Abwasserrückgewinnung mittels Membranverfahren, RWTH Aachen Diplomarbeit 2002, S. 37
- ⁷⁶ Lay, C., Untersuchungen zur Abwasserrückgewinnung mittels Membranverfahren, RWTH Aachen Diplomarbeit 2002, S. 42
- ⁷⁷ Lay, C., Untersuchungen zur Abwasserrückgewinnung mittels Membranverfahren, RWTH Aachen Diplomarbeit 2002, S. 48
- ⁷⁸ Lay, C., Untersuchungen zur Abwasserrückgewinnung mittels Membranverfahren, RWTH Aachen Diplomarbeit 2002, S. 97
- ⁷⁹ Lay, C., Untersuchungen zur Abwasserrückgewinnung mittels Membranverfahren, RWTH Aachen Diplomarbeit 2002, S. 71
- ⁸⁰ Lay, C., Untersuchungen zur Abwasserrückgewinnung mittels Membranverfahren, RWTH Aachen Diplomarbeit 2002, S. 93
- ⁸¹ Schleger, M.: Konstruktion und Aufbau einer Versuchsanlage zur Analyse des Ablöseverhaltens von Deckschichten auf unterschiedlichen Membranmaterialien der Ultra- und Mikrofiltration, Studienarbeit am IVT, RWTH Aachen 1999
- ⁸² Lay, C., Untersuchungen zur Abwasserrückgewinnung mittels Membranverfahren, RWTH Aachen Diplomarbeit 2002, S. 95
- ⁸³ Lay, C., Untersuchungen zur Abwasserrückgewinnung mittels Membranverfahren, RWTH Aachen Diplomarbeit 2002, S. 89
- ⁸⁴ Zenon, Reinigung von Brauereiabwasser nach dem ZenoGem-Verfahren, Abschlussbericht, Firmenauskunft, 1998
- ⁸⁵ Zenon, Reinigung von Brauereiabwasser nach dem ZenoGem-Verfahren, Abschlussbericht, Firmenauskunft, 1998
- ⁸⁶ Handbuch Wasser, VA TECH WABAG Essen, 2000, S. 227
- ⁸⁷ Boettger, D., Pilotversuch Ultrafiltration mit Umkehrosmose, Abschlussbericht , Firmenauskunft, 2004, S. 10
- ⁸⁸ Boettger, D., Firmenauskunft, persönliche Mitteilung, 2005
- ⁸⁹ Walter, S., Untersuchung verfahrenstechnischer Möglichkeiten zur Brauchwasserkreislaufführung in der Brauerei, München, 2005, S.128
- ⁹⁰ Boettger, D., Pilotversuch Ultrafiltration mit Umkehrosmose, Abschlussbericht , Firmenauskunft, 2004, S. 13
- ⁹¹ Koch Membrane Systems GmbH, Puron Submerged Membranes, Firmenprospekt, Aachen 2005
- ⁹² Koch Membrane Systems GmbH, vereinfachter Auszug aus dem Prozessleitsystem, 2006
- ⁹³ Koch Membrane Systems GmbH, Puron Submerged Membranes, Firmenprospekt, Aachen 2005
- ⁹⁴ Koch Membrane Systems, Spiral Wound Elements for Water Applications, Firmenprospekt, Wilmington 2004
- ⁹⁵ Pall, http://www.pall.com/datasheet_water_27044.asp 2006
- ⁹⁶ GE Osmonics, <http://www.desalwater.com/Featured-Duraslick.htm> 2006
- ⁹⁷ Zerbe, H., SGS Institut Fresenius, Prüfbericht Nr. 231336, 2006
- ⁹⁸ Zerbe, H., SGS Institut Fresenius, Prüfbericht Nr. 226298, 2006, S. 2
- ⁹⁹ Zerbe, H., SGS Institut Fresenius, Prüfbericht Nr. 226298, 2006, S. 2
- ¹⁰⁰ von Wurmb, V., GE-Infrastructure, Report for Membrane Separation Plant at König-Brauerei, 2006, Firmenauskunft
- ¹⁰¹ Gheysen, L., GE-Infrastructure Membrane Autopsy report E082, 2006, Firmenmitteilung
- ¹⁰² Glas, K. , Wassermanagement in der Brauwirtschaft, Vortrag technologisches Seminar Weihenstephan, 2006
- ¹⁰³ Groot Kormelinck, V., Optimierte Abwasserreinigung in Brauwelt 36/37 2003, S. 1125
- ¹⁰⁴ Browne, Phil, The Brewer & Distiller, March 2005, Volume 1, Issue3, S. 14

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

¹⁰⁵ Wehrle, Side stream Membrane Bio Reactors in industrial applikations, Präsentation
Achema 2006

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17. Anhang

17.1 Envicon Ergebnis und Auswertungstabelle

Datum	Zulauf			Ablauf							BSB Zulauf	BSB Ablauf
	m ³ /h	CSB mg/l	N-ges mg/l	PO ₄ mg/l	CSB mg/l	PO ₄ mg/l	N-ges mg/l	NH ₄ -N mg/l	Nitrat- N mg/l	Nitrit-N mg/l		
28.06.	0,1	2300			108			2,2	5,66			
29.06.	0,1	1138			138							
30.06.	0,1	1172			127							
01.07.	0,1	1550			113			1,1				
02.07.	0,1	1504	33,2	11,4	122	12,4	15	1	8,3	0,4		
03.07.	0,2	1556	31	10,4	109	10,4	12,8	0,7	5,88	0,05		
04.07.	0,2	2048	22,6	14,7	130	9,12	4,5	1,16	1,06	0,29		
05.07.	0,2	1914	35,8	14,1	128	9,04	6,2	1,27	1,38	0,31	1426	11,4
06.07.	0,2	982	31,5	18,4	168	9,68	9,8	1,26	2,77	0,32		
07.07.	0,2	1208	23,4	14	152	10,7	16,3	1,29	4,74	0,36		
08.07.	0,2	1108	25,1	12,8	155	11	17,7	1,39	8,28	0,41		
09.07.	0,2	1600	23,6	14,7	171	11,8	19,9	0,76	8,21	0,51		
10.07.	0,2	2172	22,1	25,4	153	10,7	9,4	1,13	2,4	0,43		10,8
11.07.	0,2	2610	32,7	18,6	127	11,3	7,6	1,1	3,04	0,42		
12.07.	0,2	1317	34,4	18,5	112	11,8	10	1,4	3,42	0,49		18,2
13.07.	0,3	1364	43,6	18	101	10,8	14,6	1,95	5,89	0,91		
15.07.	0,32	952	19	8	168	10,3	26,4	1,66	8,44	1,16		
16.07.	0,32	1526	14,5	6,8	132	9,3	21,5	2,08	14,8	0,84		
17.07.	0,32		45	21,8	163	9,4	17,4	2,49	7,17	0,86	1009	14,4
18.07.	0,32	2034	38,3	17,6	182	9	13,9	1,93	4,53	0,68		
19.07.	0,32		19,3	9,4	155	9,2	9,75	1,38	2,09	0,35		
22.07.	0,32	1080	16,5	11	164	12,3	28,7	3,8	8,4	0,88		
23.07.	0,32	1418	20,4	18,6		12,4	29,9	2,8	8,79	0,64		
24.07.	0,32	2008	20,4	18,6	179			2,6		0,63		
29.07.	0,4	810	15,5	7,6	523	11,9	25,6	3,9	8,26	0,73		
30.07.	0,4	1544	34,3	12	398	16,7	26	2,5	8,9	0,53		
31.07.	0,4	1526	17,9	7,7	310	10,2	17,3	2,7	7,94	0,73		
01.08.	0,4	1174	17,8	8,1	189	10,2	16,1	2,75	4,84	0,78		
02.08.	0,4	2296	30,6	9	139	9,3	27,6	2,93	5,18	0,9		
05.08.	0,4	4166	15,2	9,2	198	9,4	19,2	4,2	6,18	0,99		
06.08.	0,4	2084	19,5	7,6	362	10,3	22,9	4,64	1,63	1,31		
07.08.	0,4	1370	19,9	10,3	206	13	21,6	5,77	6,55	0,92		
08.08.	0,4	1606	18,7	14,2	227	11,9	27,1	3,73	7,15	1,61		
09.08.	0,4	1520	19,6	12,9	203	13,2	24,9	3,62	8,3	1,51		
12.08.	0,4	994	10,7	8,6	187	12,2	23,1	3	8,26	0,93		

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Datum	Zulauf			Ablauf							BSB Zulauf	BSB Ablauf
	CSB	N-ges	PO ₄	CSB	PO ₄	N-ges	NH ₄ -N	Nitrat-N	Nitrit-N			
	m ³ /h	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
13.08.	0,4	2972	15,6	5	205	11,8	19,1	1,74	8,45	0,77		
14.08.	0,4	1622	15,2	6,3	207	12,4	50,1	1,76	5,14	0,73		
15.08.	0,4	1602	13,5	7,5	124	9,3	14,8	1,78	5,43	0,26		
16.08.	0,4	1660	6,9	4,4	102	8,6	12,9	2,06	6,3	0,45		
19.08.	0,4				152	8,8	16					
20.08.	0,4	2606	29	15,9	129	9,82	26	3,57	8,28	0,92		
21.08.	0,6	1626	24,9	10,1	115	9,04	10,7	□	□	□		
22.08.	0,6	1530	18,6	5,6	105	8,9	12,3	1,77	6,71	0,5		
23.08.	0,6	1334	17	4,9	107	8,6	21,2	1,11	8,3	0,51		
26.08.	0,6	814	5,5	9,8	129	6,2	21,3	2,26	8,75	1,34		
27.08.	0,6	2484	12,5	3,6	135	6,6	20,3	1,56	8,66	1		
28.08.	0,6	1832	12,8	5,5	141	7	20,3	□	□	□		
03.09.	0,6	1800										
04.09.	0,6	1666			250							
09.09.	1	1686			197							
10.09.	1	1440			221							
11.09.	1	1226			297							
12.09.	1	1942			420							
13.09.	1	1336			750							
16.09.	0,6	808			246							

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.2 Fallfilmkalkulation

Fallfilmverdampfung

Grunddaten

Basierend auf Richtpreisangebot Jan 2000

Investitionsbedarf 600000 €

Rohwasserdurchsatz 8,5 m³/h

Destillatmenge 8,33 m³/h

Ausbeute 98 %

Betriebszeit 8400 h/a

Aufwand

spez. Stromverbrauch 17 kWh/m³

Strompreis 0,1 €/kWh

Konzentratmenge 0,17 m³/h

Wartungsaufwand 100 h/a

Chemieeinsatz 3000 €/a

Gesamtaufwand 127.880,00 €/a

mögliche EINSparungen

134.688,08 €/a

Netto Einsparung

6.808,08 €/a

Amortisationsdauer unverzinst, statisch:

88 Jahre

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.3 Mikrobiologische Untersuchungsergebnisse VTA



Protokoll – Mikroskopisches Bild

Anlage: **König Brauerei Duisburg**

Probenahme: 14.07.03 Durchgeführt von: Hr. Englisch
 Untersuchung: 15.07.03 Durchgeführt von: TG/ME

Morphologie d. Schlammflocke	BIO 1	BIO 2
Geruch	leicht muffig	muffig
Farbe	braun	braun
Flockengröße (EIKELBOOM et BUIJSEN 1999)	klein	klein
Struktur der Flocke (EIKELBOOM et BUIJSEN 1999)	stark in Aggl. eingeb.	stark in Aggl. eingeb.
Fädigkeit (EIKELBOOM et BUIJSEN 1999) Stufen 0 – 4	3 (- 4)	3 (- 4)
ISV rel. Fädigkeit (KUNST et al. 2000) Stufen 0 – 7	4 (- 5)	4 (- 5)

Fadenförmige Mikroorganismen

Art	BIO 1	BIO 2	Art	BIO 1	BIO 2	Art	BIO 1	BIO 2
H. hydrossis	0	(0)	<i>Thiothrix</i> sp.			Typ 0914		
<i>M. parvicella</i>			T. 0041/0675	0X	0	Typ 0961		
<i>N. limicola</i> I	(0)	(0)	T. 0092			Typ 1701	0	(0)
<i>N. limicola</i> III			T. 021N			Typ 1851		
Nocardioforme	0	0X	T. 0581			Streptococcus	0	0
S. natans			Typ 0803			Pilz		0

x = dominant 0 = untergeordnet

Schwefeltest: negativ

Sonstige Mikroorganismen

Art	BIO 1	BIO 2
Freie Bakterien ¹⁾	- bis +	+
<i>Zoogloea</i> ²⁾	-	-
Spirochäten ²⁾	-	-
Spirillen ²⁾	-	-

1) - = wenige + = einige pro Gesichtsfeld
 ++ = hunderte pro Gesichtsfeld

2) - = fehlen ± = fallweise + = einige ++ = viele

Protozoen u. Metazoen

Ciliaten	BIO 1	BIO 2
<i>Carchesium</i> sp.		
<i>Epistylis</i> sp.		
<i>Opercularia</i> sp.		
<i>Vorticella infusionum</i>	+	+
<i>Vorticella convallaria</i>		
<i>Aspidisca cicada</i>		
<i>Euplotes</i> sp.		
<i>Cyclidium</i> sp.		
Holophryiden		
<i>Plagiocampa rouxi</i>		
<i>Spirostomum</i> sp.		
thermophiler Ciliat		±

Nacktamöben	±	
Schalenamöben		

Metazoen		
Rotaria sp.		
Bärtierchen		
Nematoden		

(±) = sporadisch ± = fallweise + = einige ++ = viele

Flagellaten	BIO 1	BIO 2
Kleine Zooflagellaten (< 10µm)	±	+
Weitere Zooflagellaten (> 10µm)		
<i>Peranema</i> sp.		

Amöben		
---------------	--	--

Beobachtete Veränderungen im Vergleich zur Analyse vom 17.06.03:

- Flockenstruktur

Die lockere Flockenstruktur war im Vergleich zur vorigen Analyse in beiden Reaktoren nahezu unverändert; insgesamt wurden seltener Vernetzungen zwischen den Einzelflocken beobachtet, was als leichte Verbesserung zu werten ist (siehe Abb. 1 und 2).

- Fädigkeit / freie Bakterien

Die Gesamtfädigkeit in BIO 1 wurde als mäßig bis verstärkt eingestuft (2 - 3 nach Eikelboom, bzw. 3 – 4 nach Kunst) und hatte sich damit im Vergleich zur letzten Probenauswertung nicht verändert. Ebenfalls unverändert blieb die Fädigkeit in BIO 2, die mit 2 (nach Eikelboom) und 3 (nach Kunst) als mäßig bewertet wurde. Die Häufigkeit der nocardioformen Actinomyceten in BIO 1 war zurückgegangen, im vorgeschalteten Reaktor BIO 2 blieben die verzweigten Filamente dieser Fadenbakterien hingegen weiterhin dominant.

Die Häufigkeit der freien Bakterien in BIO 1 war deutlich geringer als in BIO 2, was den Befunden der Vorwochen entspricht. In BIO 2 wurden - entsprechend dem Ergebnis vom 17.06.2003 - erneut sehr viele freie Bakterien gefunden.

- Protozoen und Metazoen

Die untersuchten Proben beider Reaktoren waren hinsichtlich höherer Organismen erneut extrem artenarm (geringe Diversität). In den Proben waren lediglich Individuen eines nicht näher bestimmbareren, vermutlich thermophilen Ciliaten sowie wenige Zooflagellaten enthalten. In sehr hoher Abundanz war der Ciliat bereits in der Untersuchung vom 17.06. 2003 aus BIO 1 dokumentiert worden, wobei seine Häufigkeit in der aktuellen Auswertung leicht zurückgegangen war. Erstmals wurde er nunmehr aber auch in der Probe aus BIO 2 nachgewiesen.

Das Gesamtbild der Analyse lässt darauf schließen, dass in den Reaktoren weiterhin eine erhöhte Temperatur vorliegt, wodurch der eingetragene Sauerstoff für die Organismen nur eingeschränkt verfügbar ist (geringe Diversität; Nachweis von Lebewesen, die extreme Bedingungen tolerieren). Durch diese Bedingungen sowie die stärkere Anlagenbelastung in den Sommermonaten wird weiterhin - besonders im vorgeschalteten Reaktor BIO 2 - eine Instabilität der Flocken hervorgerufen, wodurch sich hier sehr viele freie Bakterien im flüssigen Medium befinden und eine verstärkte Trübung verursachen.

Wahrscheinlich wirkt außerdem unter den derzeitigen Betriebsverhältnissen der extreme Belastungsstoß, der Anfang Juni der Anlage zugeleitet wurde, noch weiterhin nach. Es ist zu vermuten, dass sich die Biozönose bei erhöhten Temperatur- und Belastungsbedingungen langsamer regeneriert.

Ergebnisse aller bisherigen mikroskopischen Untersuchungen, BIO 1:

Parameter	20.5.03	17.06.03	30.06.03	14.07.03
Geruch	unauffällig	unauffällig	unauffällig	leicht muffig
Farbe	hellbraun	braun	braun	braun
Flockengröße	klein bis mittel	klein bis mittel	klein bis mittel	klein
Struktur der Flocke	locker, leicht, vernetzt	locker, leicht, vernetzt	locker, leicht	stark in Aggl. eingeb.
Fädigkeit	2 – 3	2 – 3	2 – 3	3 (- 4)
ISV rel. Fädigkeit	3 – 4	3 – 4	3 – 4	4 (- 5)
H. hydrossis	0	(0)	(0)	0
Microthrix parvicella				
<i>Nostocoida limicola</i> I	(0)			
<i>Nostocoida limicola</i> III		(0)	(0)	(0)
Noc. Actinomyceten	0	X	0	0
Typ 0041/0675	0X	0	0	0X
Typ 1701	0	(0)	0	0
„Streptococcus“	0	0X	0	0
<i>Pilz</i>	-	0		
Freie Bakterien	- bis +	±	- bis +	- bis +
Zoogloea sp.	-	-	-	-
Spirochäten	-	-	-	-
Spirillen	-	-	-	-
Hefezellen	-	-	-	-
<i>Carchesium</i> sp.				
<i>Opercularia</i> sp.				
<i>Vorticella aquadulcis</i>				
<i>Vorticella convallaria</i>				
<i>Vorticella infusionum</i>	±			+
<i>Aspidisca cicada</i>				
<i>Aspidisca lynceus</i>				
<i>Euplotes</i> sp.				
<i>Cyclidium</i> sp.	++			
Hypotriche				
<i>Colpoda</i> sp.				
Holophryiden				
<i>Trochilia minuta</i>				
Amphileptiden				
thermophiler Ciliat		++	+	
Kleine Zooflagellaten (< 10 µm)		±	±	±
Weitere Zooflagellaten (> 10 µm)	±	±	(±)	
<i>Peranema</i> sp.				
Nacktamöben		±		±
Schalenamöben				
Rotatorien				
<i>Rotaria</i> sp.				

Ergebnisse aller bisherigen mikroskopischen Untersuchungen, BIO 1:

Parameter	4.02.03	17.03.03	7.04.03	5.05.03
Geruch	leichter Biergeruch	unauffällig leicht nach Bier	unauffällig	unauffällig
Farbe	gelblich	ocker – braun	braun	braun, recht klar
Flockengröße	klein – mittel	klein – mittel	klein – mittel	klein bis mittel
Struktur der Flocke	locker vernetzt	Flockenzerfall, instabile Flocke	locker, leicht, vernetzt	meist locker, leicht, vernetzt
Fädigkeit	3	3	2 – 3	2 – 3
ISV rel. Fädigkeit	4 – 5	4	3 – 4	3 – 4
H. hydrossis	0	0	0	0
Microthrix parvicella				
<i>Nostocoida limicola</i> I		0	0	0
<i>Nostocoida limicola</i> III	X0			
Noc. Actinomyceten	0	X	X	0X
Typ 0041/0675		0	0	0
Typ 1701	0		0	0
„Streptococcus“	X		0	0
Freie Bakterien	+	++	- bis +	- bis +
Zoogloea sp.	+			
Spirochäten				
Spirillen				
<i>Carchesium</i> sp.				
<i>Opercularia</i> sp.	(±)			
<i>Vorticella aquadulcis</i>		(±)		
<i>Vorticella convallaria</i>	(±)	+	±	
<i>Vorticella infusionum</i>		(±)	±	
<i>Aspidisca cicada</i>				
<i>Aspidisca lynceus</i>				
<i>Euplotes</i> sp.	++			
<i>Cyclidium</i> sp.	(±)		++	++
Hypotriche		(±)		
Colpoda sp.		(±)		
Holophryiden				
<i>Trochilia minuta</i>				
Amphileptiden				
Kleine Zooflagellaten (< 10 µm)	++		±	
Weitere Zooflagellaten (> 10 µm)				+
<i>Peranema</i> sp.				
Nacktamöben	(±)	(±)		±
Schalenamöben				
Rotatorien				
<i>Rotaria</i> sp.				

Ergebnisse aller bisherigen mikroskopischen Untersuchungen, BIO 2:

Parameter	20.5.03	17.06.03	30.06.03	14.07.03
Geruch	unauffällig	muffig	muffig	muffig
Farbe	hellbraun	braun	braun	braun
Flockengröße	vorwiegend klein	vorwiegend klein	mittel	klein
Struktur der Flocke	leichter als in BB 1	leichter als in BB 1	locker, leicht	stark in Aggl. eingeb.
Fädigkeit	(1 -) 2	(1 -) 2	2	3 (- 4)
ISV rel. Fädigkeit	(2 -) 3	(2 -) 3	3	4 (- 5)
H. hydrossis	0	0	(0)	(0)
Microthrix parvicella				
<i>Nostocoida limicola</i> I	(0)			
<i>Nostocoida limicola</i> III		(0)	(0)	(0)
Noc. Actinomyceten	X	X	X	0X
Typ 0041/0675	0	0	0	0
Typ 1701	0	(0)	(0)	(0)
<i>Beggiatoa</i> sp.				
"Streptococcus"	0		0	0
Pilz		0	0	0
Freie Bakterien	- bis +	++	++	+
<i>Zoogloea</i> sp.	-		-	-
Spirochäten	-		-	-
Spirillen	-	±	-	-
Hefezellen	-	±	-	-
<i>Carchesium</i> sp.				
<i>Opercularia</i> sp.				
<i>Vorticella aquadulcis</i>				
<i>Vorticella convallaria</i>				
<i>Vorticella infusionum</i>	++			+
<i>Aspidisca cicada</i>				
<i>Aspidisca lynceus</i>				
<i>Euplotes</i> sp.				
<i>Uronema</i> sp.				
<i>Cyclidium</i> sp.	+			
<i>Colpoda</i> sp.				
Hypotriche				
Diplophrys sp.				
Holophryiden				
<i>Trymyema compressum</i>				
Amphileptiden				
thermophiler Ciliat			±	±
Kleine Zooflagellaten (< 10 µm)			±	+
Weitere Zooflagellaten (> 10 µm)	±	±		
<i>Peranema</i> sp.				
Nacktamöben				
Schalenamöben				
Rotatorien				
<i>Rotaria</i> sp.				

Ergebnisse aller bisherigen mikroskopischen Untersuchungen, BIO 2:

Parameter	4.02.03	17.03.03	7.04.03	5.05.03
Geruch	leichter Biergeruch	unauffällig leicht nach Bier	unauffällig	unauffällig
Farbe	gelblich	ocker – braun	braun	braun, recht klar
Flockengröße	größere Flockenverbände	klein – mittel	kleiner als in BIO 1	klein bis mittel
Struktur der Flocke	locker vernetzt	locker, leicht, vernetzt	leichter, weniger vernetzt als in BB 1	leichter als in BIO 1
Fädigkeit	2 – 3	2	2	(1 -) 2
ISV rel. Fädigkeit	4	3	3	(2 -) 3
H. hydrossis	0	0	0	0
Microthrix parvicella				
<i>Nostocoida limicola</i> I		0	0	0
<i>Nostocoida limicola</i> III	X0			0
Noc. Actinomyceten	0	0X	X	0X
Typ 0041/0675		0	0	0
Typ 1701	0	0	0	0
<i>Beggiatoa</i> sp.		0		
“Streptococcus”	X		0	0
Freie Bakterien	+	+	- bis +	- bis +
<i>Zoogloea</i> sp.	+		-	-
Spirochäten			-	-
Spirillen			-	-
<i>Sarcina</i> sp.	+		-	-
<i>Carchesium</i> sp.				
<i>Opercularia</i> sp.	(±)			
<i>Vorticella aquadulcis</i>				
<i>Vorticella convallaria</i>	(±)	+	±	
<i>Vorticella infusionum</i>		(±)	++	
<i>Aspidisca cicada</i>				
<i>Aspidisca lynceus</i>				
<i>Euplotes</i> sp.	++			
<i>Uronema</i> sp.	(±)			
<i>Cyclidium</i> sp.	(±)	++	+	+
<i>Colpoda</i> sp.		+		
Hypotriche		(±)		
<i>Diplophrys</i> sp.				
Holophryiden				
<i>Trymyema compressum</i>		(±)		
Amphileptiden	(±)			
Kleine Zooflagellaten (< 10 µm)	++	++	±	
Weitere Zooflagellaten (> 10 µm)	±			+
<i>Peranema</i> sp.				
Nacktamöben	(±)	+		±
Schalenamöben	(±)	+		
Rotatorien	±			
<i>Rotaria</i> sp.				

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.4 Zenon MBR

Zenon MBR Nov-Dez 1997						
Analysenwerte in mg/l wo nicht anders angegeben						
	21.11.97	24.11.97	25.11.97	26.11.97	27.11.97	28.11.97
Ausgewerteter Tag	1	2	3	4	5	6
Zulauf						
CSB	2072	910	2054	2920	1986	1989
TKN	83	130				86
NH ₄ -N	4	1,3				0,35
NO ₃		1				0,1
NO ₂		0,5				0,05
PO ₄	5,7	9,6	23,3	18,6	10,4	19,9
pH	7,71	8,46	7,11	7,5	7,85	8,61
Ablauf:						
CSB	103	95	100	111	98	105
TKN	3,9	2,6				3
NH ₄ -N	0,6	0,2				0,1
NO ₃	150	390		630		620
NO ₂	2,8	0,5				0,05
PO ₄	4,9	6,4	7,3	5,9	8,1	7,4
pH	8,43	8,43	8,6	8,15	8,28	8,61
Biomasse (g/l)	23,48	21,8	21,5	22,8	20,4	19,8
Temperatur (°C)	32,6	31,5	30,4	31,5	31,8	32,9
Zulauf (l/d)	2910	1450	880	1590	1570	1570
Schlammbelastung kg CSB/(kg TS d)	0,07	0,02	0,02	0,05	0,04	0,04

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Zenon MBR Nov-Dez 1997
 Analysenwerte in mg/l wo nicht
 anders angegeben

Ausgewerteter Tag	09.12.1997	10.12.1997.	11.12.1997	12.12.1997.	15.12.1997
	7	8	9	10	11
Zulauf					
CSB	2258	2268	1560	1630	1120
TKN				29	41
NH ₄ -N				0,1	5,2
NO ₃				0,44	33
NO ₂				0,25	0,25
PO ₄	15,7	15,4	12,8	11,3	9,5
pH	8,17	7,73	8,07	8	7,72
Ablauf:					
CSB	91	65	64	81	76
TKN				2,8	2,9
NH ₄ -N		0,1		0,1	
NO ₃		79		380	370
NO ₂				0,25	0,25
PO ₄	4,9	4,5	5,2	3,5	4,8
pH	8,72	8,7	8,92	9,05	9
Biomasse (g/l)	21,55	22,6	23,1		
Temperatur (°C)	27,7	30,8	31,5	26,9	22,1
Zulauf (l/d)	2780	1760	1980	1460	590
Schlammbelastung kg CSB/(kg TS d)	0,08	0,05	0,04		

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Zenon MBR Nov-Dez 1997
 Analysenwerte in mg/l wo nicht
 anders angegeben

Ausgewerteter Tag	12	13	14	15	Mittelwerte
Zulauf					
CSB	2373	2286	1837	2028	1953
TKN				86	76
NH ₄ -N	0,25	0,25		0,1	1,44
NO ₃	0,33	0,33		0,15	5,05
NO ₂				0,25	0,26
PO ₄	17,9	16,7		16	14,5
pH	8,36	8,24		8,13	7,98
Ablauf:					
CSB	71	66,4	66,4	63,9	84
TKN				5,3	3,4
NH ₄ -N	0,1			0,1	0,19
NO ₃	300			190	345
NO ₂				0,25	0,68
PO ₄	5,9	4,5	4,4	4,6	5,5
pH	9,1	9,11	9,1	9,08	8,75
Biomasse (g/l)	22,3	24,5	23,3	23,9	22,4
Temperatur (°C)	23,1	18,47	21,7	27,2	28,0
Zulauf (l/d)	2210	2160	650	3190	1783
Schlammbelastung kg CSB/(kg TS d)	0,06	0,05	0,01	0,07	0,05

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.5 Zenon Umkehrosmose

17.5.1 21 bar

Membran: **RO Zenon**

Modultyp: 1=6084446,
2=6176933

Datum: 13.-16.01.98; 3.KW

		13.01.1998							
21 bar									
Zeit [h]	0	0,6	1,75	2,25	4	5,75	7,75	18,25	
Zulaufmenge [l/h]	87,95	59,4	71	70,8	60,7	55,2	60	51,6	
Permeatmenge [l/h]	11,25	47,4	53	49,8	35	30	31,2	27,6	
Konzentratmenge [l/h]	76,7	12	18	21	25,7	25,2	28,8	24	
Eingangsdruck[bar]	8	15	21	21	21	21	21	21	
Leitfähigkeit, Behälter [mS/cm]		4,55	4,9	5,04	5,03	4,89	4,75	4,6	
Leitfähigkeit, Permeat [uS/cm]		530	260	294	311	309	321	304	
Zeit [h]	0	0,6	1,75	2,25	4	5,75	7,75	18,25	
Leitfähigkeit, Behälter [uS/cm]		4550	4900	5040	5030	4890	4750	4600	
Leitfähigkeit, Permeat [uS/cm]		530	260	294	311	309	321	304	
Zeit [h]	22,25	23,5	26,5	29,75	31,75	42,25	44,25		
Zulaufmenge [l/h]	45,6	46,2	43,8	46,8	46,8	41	43		
Permeatmenge [l/h]	28,2	27,6	27,6	27,6	27,6	24	24		
Konzentratmenge [l/h]	17,4	18,6	16,2	19,2	19,2	17	19		
Eingangsdruck[bar]	21	21	21	21	21	21	21		
Leitfähigkeit, Behälter [mS/cm]			4,7	4,71	4,73	4,8			
Leitfähigkeit, Permeat [uS/cm]	295			304	294	370	270		
Zeit [h]	22,25	23,5	26,5	29,75	31,75	42,25	44,25		
Leitfähigkeit, Behälter [uS/cm]			4700	4710	4730	4800			
Leitfähigkeit, Permeat [uS/cm]	295			304	294	370	270		

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.5.2 35 bar

Membran: **RO Zenon**

Modultyp: 1=6084446, 2=6176933

Datum: 13.-16.01.98; 3.KW

35 bar

15.01.1998

	0,01	0,25	0,5	0,45	1	1,25	1,5	1,75	2
Zeit [h]	0,01	0,25	0,5	0,45	1	1,25	1,5	1,75	2
Zulaufmenge [l/h]	284,3					79,2	70,8	70,8	
Permeatmenge [l/h]	264,3	168	156	108	79	57,6	48	48	48
Konzentratmenge [l/h]	20					21,6	22,8	22,8	
Eingangsdruck[bar]	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Leitfähigkeit, Behälter [mS/cm]	4,91		5,86			6,83	6,79	6,29	
Leitfähigkeit, Permeat [µS/cm]	59	117	150	150	163	230	250	290	300

	0,01	0,25	0,5	0,45	1	1,25	1,5	1,75	2
Zeit [h]	0,01	0,25	0,5	0,45	1	1,25	1,5	1,75	2
Leitfähigkeit, Behälter [µS/cm]	4910		5860			6830	6790	6290	
Leitfähigkeit, Permeat [µS/cm]	59	117	150	150	163	230	250	290	300

Zeit [h]	5,25	6,75	8,75	19,3	22,8
Zulaufmenge [l/h]	51	62,4	59,4	42,6	43,2
Permeatmenge [l/h]	39	42	37,8	28,8	27
Konzentratmenge [l/h]	12	20,4	21,6	13,8	16,2
Eingangsdruck[bar]	36	36	36	36	36
Leitfähigkeit, Behälter [mS/cm]	5,78	5,75	5,66	5,35	5,3
Leitfähigkeit, Permeat [µS/cm]	270	273	316	280	277
pH, Behälter	8,73	8,72	8,62	8,79	8,82

Zeit [h]	5,25	6,75	8,75	19,3	22,8
Leitfähigkeit, Behälter [µS/cm]	5780	5750	5660	5350	5300
Leitfähigkeit, Permeat [µS/cm]	270	273	316	280	277

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.6 Daten Imecon 2001

17.6.1 Datenprotokoll Membranauswahl

imecon ag
Bildstraße
34

Phase 1 Membranvergleich

CH - 9030 Abtwil

Datum	Stunden (h)	Druck		Temp. TI 103 (°C)	Permeat Volumenstrom FI 104 (l/h)			Kon- zentrat- Volumen- strom FI 105 (l/h)	Zähler FIC 106 (Liter)	Filterdruck	
		PI 101 (bar)	PI 102 (bar)		FI 104 (l/h)					vor	nach
					1	2	Ges.				
Start											
05.04.2001					SG	BW					
04.04.2001	0,0	22	20	26	250	245		245	480		
04.04.2001	0,5	21,5	20	29	260	240		230	620		
04.04.2001	1,5	22	20	34	290	260		250	1.110		
04.04.2001	4,5	21,5	19,5	35	280	260		255	2.100		
04.04.2001	4,6	21,5	19,5	31	260	240		235	2.670		
04.04.2001	5,4	22	20	33	270	230		230	3.030		
04.04.2001	6,1	22	20	31	270	230		225	3.360		
05.04.2001	6,8	22	20	26	220	250		240	3.600	0,9	0,5
05.04.2001	9,9	22	20	33	260	235		240	5.138	0,4	0,2
09.04.2001	13,3	22	20	14	180	165	330	240	6.698	0,9	0,8
09.04.2001	16,2	22	20	32	285	250	490	270	8.106	0,9	0,8
09.04.2001	18,3	22	20	34	280	235	485	270	9.110	0,8	0,7
10.04.2001	34,6	22	20	31	260	200	440	270	15.328	0,7	0,6
10.04.2001	34,9	22	20	32	250	195	420	235	15.453	0,8	0,6
10.04.2001	39,2	22,5	20,5	33	240	180	380	230	17.240	0,5	0,2
11.04.2001	55,6	23	21	30	170	110	270	225	22.300	1,1	0,7
12.04.2001	79,4	23	21	30	140	70	220	230	27.900	1,7	1,4
12.04.2001	81,7	23	21	31	140	85	220	225	28.393	1,8	1,5
Membranreinigung											
12.04.2001	82,1	22	20	19	270	190	430	225	28.440	0,7	0,6
12.04.2001	88,4	22,5	20,5	29	230	150	360	260	30.898	0,8	0,7
13.04.2001	105,3	23	20,5	27	220	140	330	230	36.289	0,7	0,6
13.04.2001	108,7	23	20,5	28	220	140	350	230	38.000	3	2,8
14.04.2001	128,6	23	20,2	25	210	140	340	230	44.532	0,6	0,5
15.04.2001	152,7	23	20	30	220	140	340	240	52.700	2	2,1
15.04.2001	156,3	22,8	20,2	32	220	140	340	235	53.850	2,35	2,3
16.04.2001	159,2	22,2	20	27	250	160	380	230	56.930	2,3	2,4
16.04.2001	183,8	22,5	20	30	240	150	380	225	58.790	1,1	1,2

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Datum	Stunden (h)	Druck		Temp. TI 103 (°C)	Permeat			Kon- zentrat- FI 105 (l/h)	Zähler FIC 106 (Liter)	Filterdruck	
		PI 101 (bar)	PI 102 (bar)		FI 104 (l/h)					vor	nach
					1	2	Gesamt				
18.04.2001					XLE	BW					
18.04.2001	198,8	21,5	19,5	24	420	110	515	200	59.084	2,6	2,4
18.04.2001	200,7	22,5	20,5	29	190	63	260	205	59.692	2,5	2,4
19.04.2001	201,6	21,5	19,5	10	290	150	410	180	59.645	1,9	1,8
19.04.2001	204,5	22	20,5	27	230	150	350	195	60.612	2,2	2,1
19.04.2001	207,9	22	20,5	27	230	160	360	150	62.013	2,5	2,4
20.04.2001	222,6	22,5	21	26	100	110	200	120	66.002	2,4	2,3
20.04.2001	225,5	23	21	25	63	85	150	120	66.400	2,4	2,3
20.04.2001	226,5	22,5	20,5	25	80	110	190	200	66.563	1,4	1,4
20.04.2001	230,2	23	21	29	90	130	210	205	67.300	1,35	1,35
21.04.2001	247,2	23	21	29	80	120	190	200	70.754	1,3	1,4
22.04.2001	276,5	23	21	32	80	120	190	200	76.302	1,2	1,3
23.04.2001	294,4	23	21	29	70	120	180	210	79.740	1,3	1,4
23.04.2001	297,0	23	21	29	70	120	190	195	80.238	1,2	1,1
23.04.2001	302,4	23	21	30	70	120	190	200	81.297	1,2	1,1
24.04.2001	318,5	23	21	29	63	120	175	210	84.363	1,2	1,1
24.04.2001	323,0	23	21	34	60	110	150	95	84.899	1,2	1,2

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.6.2 Datenprotokoll 5. und 6. Run

imecon ag

Bildstraße 34

König-Brauerei Duisburg

CH - 9030 Abtwil

Datum	Uhrzeit	Stunde n (h)	Druck		Temp . TI 103 (°C)	Permeat Volumen- strom FI 104 (l/h)			Kon- zentrat FI 105 (l/h)	Filter-druck		Ausb.
			PI 101 (bar)	PI 102 (bar)		1	2	Ge- samt		vor	nach	
Start												
						neu						
						SG	SG					
10.07.2001	17:30	1.116,0	22,5	20,5	44	310	210	480	230	0,9	0,8	68%
11.07.2001	7:45	1.130,4	23,5	21,5	36	230	120	335	230	1,0	0,7	59%
11.07.2001	12:00	1.134,8	23,5	21,5	37	230	120	325	230	1,0	0,7	59%
11.07.2001	17:00	1.139,9	23,5	21,5	38	220	115	320	230	1,0	0,7	58%
12.07.2001	7:45	1.154,4	24,0	21,5	34	195	100	280	225	2,2	0,0	55%
12.07.2001	12:45	1.158,8	23,5	20,5	39	200	100	290	225	0,6	0,5	56%
12.07.2001	17:50	1.163,6	23,5	20,5	38	190	90	275	220	0,7	0,6	56%
13.07.2001	7:35	1.177,5	24,0	22,0	33	180	90	255	230	0,7	0,7	53%
14.07.2001	8:50	1.202,7	24,0	22,0	35	180	90	240	230	1,1	0,0	51%
15.07.2001	9:30	1.227,4	24,0	22,0	30	150	80	210	230	2,9	2,7	48%
16.07.2001	7:45	1.249,7	24,0	22,0	30	120	50	175	180	1,1	0,1	49%
17.07.2001	13:00	1.277,0	24,0	22,0	36	115	50	170	215			44%
18.07.2001	9:00	1.296,9	24,5	22,0	31	95	50	140	220			39%
19.07.2001	10:00	1.321,9	24,5	22,0	31	95	50	140	220	0,8	0,7	39%
20.07.2001	10:10	1.346,0	24,5	22,0	28	95	50	140	220			39%
21.07.2001	6:40	1.366,5	25,0	22,0	25	95	50	140	220	3,1	3,0	39%
22.07.2001	12:50	1.396,8	24,5	21,5	34	95	50	140	220	3,0	3,0	39%
23.07.2001	9:50	1.417,8	24,5	21,5	31	95	60	140	220			39%
25.07.2001	8:00	1.420,6	24,5	21,5	26	60	60	90	220			29%
26.07.2001	12:10	1.448,9	24,5	22,0	39	85	60	130	200			39%
27.07.2001	8:45	1.469,5	25,0	21,5	37	85	60	130	205	1,8	0,0	39%
28.07.2001	11:05	1.495,0	25,0	21,5	39	60	60	130	220	3,15	3,1	37%

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Datum	Uhrzeit	Stunden	Druck	Temp	Permeat	Konzentrat	Filter-druck	Ausb.
29.07.2001	9:58	1.517,8	25,0	21,5	33	60 60 110	140 3,15 3,05	44%
29.07.2001	14:10	1.522,0	25,0	21,5	37	60 60 110	135 3,15 3,1	45%
30.07.2001	9:05	1.540,9	25,0	21,5	37	60 60 100	155	39%
30.07.2001	12:45	1.544,7		25,0	21,5		40 63 60	105
31.07.2001	9:00	1.564,8	25,0	21,0	37	60 60 95	215 1,3 0,1	32%
04.08.2001	8:35	1.596,4	23,5	21,0	24	60 60 95	135	31%
05.08.2001	10:00	1.596,4	23,5	21,0	21	60 60 95	135 3,4 0,0	41%
08.08.2001	9:30	1.596,6	23,5	21,0	25	230 160 370	250 3,4 0,0	41%
08.08.2001	15:40	1.602,6	23,0	21,0	36	250 180 410	250 2,1 0,3	60%
10.08.2001	16:00	1.602,8	23,5	21,0	28	255 175 400	250 3,0 0,5	62%
10.08.2001	20:00	1.606,7	24,0	22,0	36	360 230 400	255 0,6 0,6	62%
11.08.2001	9:15	1.620,1	24,0	22,0	34	160 120 280	250 3,6 0,0	61%
12.08.2001	8:05	1.642,9	25,0	22,0	32	125 100 220	240 3,4 3,6	53%
14.08.2001	8:35	1.691,3	25,0	21,5	33	90 90 180	235 0,8 0,8	48%
14.08.2001	14:10	1.692,7	25,0	23,0	32	70 63 115	240 0,7 0,2	43%
15.08.2001	9:15	1.711,8	25,0	23,0	38	63 70 130	170 0,7 0,2	32%
15.08.2001	12:20	1.715,0	25	23	39	63 75 135	170 2,5 0,0	43%
15.08.2001							2,3 0,6	44%

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.6.3 CSB, Trübung und mikrobiologische Analysen

Analysenbericht Imeconproben

2001

Auszug

Proben- bezeichnung	Probennahme- Datum	Analysen- Datum	Trübung EBC	CSB mg/l	CSB nach Af	Mikrobio (DEV)
RW	4. Apr	5. Apr		668		
BW-303040	4. Apr	5. Apr		<15		7 KBE (St. Gram(-))
SG-4040F	4. Apr	5. Apr		<15		4 KBE (St. Gram(-))
RW	10. Apr	11. Apr		430		
BW-303040	10. Apr	11. Apr		<5		>100 KBE (St. Gram(-))
SG-4040F	10. Apr	11. Apr		<5		>100 KBE (St. Gram(-))
RW	11. Apr	12. Apr	55,6	478		
BW-303040	11. Apr	12. Apr		<5		>100 KBE (St. Gram(-))
SG-4040F	11. Apr	12. Apr		<5		>100 KBE (St. Gram(-))
RW	18. Apr	19. Apr	30,5	283		
BW-304040	18. Apr	19. Apr		<5	16,4	>100 KBE (St. Gram(-))
XLE-4040	18. Apr	19. Apr		<5	7,76	>100 KBE (St. Gram(-))
RW	19. Apr	23. Apr	20,9	315		
BW-303040	19. Apr	23. Apr		5,51	23,5	70 KBE (St. Gram(-))
XLE-4040	19. Apr	23. Apr		<5	15,2	120 KBE (St. Gram(-))
RW	20. Apr	23. Apr	37,3	333		
BW-303040	20. Apr	23. Apr		6,97	<5	>100 KBE (St. Gram(-))
XLE-4040	20. Apr	23. Apr		5,22	42,6	>100 KBE (St. Gram(-))
RW	21. Apr	23. Apr	31,1	338		
BW-303040	21. Apr	23. Apr		<5	28,3	>100 KBE (St. Gram(-))
XLE-4040	21. Apr	23. Apr		7,25	48,7	>100 KBE (St. Gram(-))
RW	22. Apr	23. Apr	26,7	254		
BW-303040	22. Apr	23. Apr		<5	53,4	>100 KBE (St. Gram(-))
XLE-4040	22. Apr	23. Apr		7,46	59,7	>100 KBE (St. Gram(-))
RW	23. Apr	24. Apr	37,8	296		
BW-303040				<5	<5	>100 KBE (St. Gram(-))
XLE-4040				7,65	<5	>100 KBE (St. Gram(-))

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Proben- bezeichnung	Probennahme- Datum	Analysen- Datum	Trübung EBC	CSB	CSB	Mikrobio (DEV)
				mg/l	nach Af	
RW BW-303040 XLE-4040	24. Apr	24. Apr	29,6	290 6,41 8,92	<5 <5	>100 KBE (St. Gram(-)) >100 KBE (St. Gram(-))
RW BW-303040 XLE-4040	25. Apr	27. Apr	52,2	304 <5 <5	6,5 6,85	>100 KBE (St. Gram(-)) >100 KBE (St. Gram(-))
RW BW-303040 XLE-4040	26. Apr	26. Apr	53,1	347 <5 <5	10,8 16	>100 KBE (St. Gram(-)) >100 KBE (St. Gram(-))
RW BW-303040 XLE-4040	27. Apr	27. Apr	51,1	341 <5 <5	<5 <5	>100 KBE (St. Gram(-)) >100 KBE (St. Gram(-))
RW BW-303040 XLE-4040	28. Apr	30. Apr	31,2	282 <5 <5	8,7 8,8	
RW BW-303040 XLE-4040	29. Apr	30. Apr	31,5	274 <5 <5	17,9 18,7	
RW BW-303040 XLE-4040	30. Apr	30. Apr	26,7	285 <5 <5	16,7 43,2	
RW BW-303040 XLE-4040 BW-303040 XLE-4040	1. Mai	2. Mai	28,7	250 <5 <5 <5 <5	28,9 33,1 72,1 34,3	
RW BW-303040 XLE-4040	3. Mai	3. Mai	37,2	339 <5 <5	22 38,7	
RW BW-303040 XLE-4040	4. Mai	4. Mai	39,4	307 <5 <5	6,75 5,27	

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Proben- bezeichnung	Probennahme- Datum	Analysen- Datum	Trübung EBC	CSB mg/l	CSB nach Af	Mikrobio (DEV)
RW BW-303040 SG-4040F	10. Mai	10. Mai	63,6	341 <5 <5	5,29 5,16	
RW BW-303040 SG-4040F	11. Mai	11. Mai	32,2	280 <5 <5	16,8 18,1	
RW BW-303040 SG-4040F	16. Mai	16. Mai	28,5	328 <5 <5	3,97 17,6	
RW BW-303040 SG-4040F	17. Mai	17. Mai	21,3	289 18,9 <5	<5 <5	
RW BW-303040 SG-4040F	18. Mai	18. Mai	23,5	211 <5 <5	8,05 5,89	
RW BW-303040 SG-4040F	8. Jun	11. Jun	23,5	183 <5 <5		
RW BW-303040 SG-4040F	9. Jun	11. Jun	23,2	269 <5 <5		
RW BW-303040 SG-4040F	10. Jun	11. Jun	24	289 <5 <5		
RW BW-303040 SG-4040F	11. Jun	11. Jun	18	281 <5 <5		
RW BW-303040 SG-4040F	12. Jun	12. Jun	20,1	267 5,3 <5	31,4 33,6	
RW	20. Jun	20. Jun	28,8	313		

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Proben- bezeichnung	Probennahme- Datum	Analysen- Datum	Trübung EBC	CSB mg/l	CSB nach Af	Mikrobio (DEV)
BW-303040				<5	48,4	mehr als 100 Kolonien
SG-4040F				<5	45,2	mehr als 100 Kolonien
RW	21. Jun	21. Jun		309		
BW-303040				<5	12,8	mehr als 100 Kolonien
SG-4040F				<5	<5	mehr als 100 Kolonien
RW	23. Jun	25. Jun	10,1	245		
BW-303040				22,7	6,93	
SG-4040F				<5	<5	
RW	24. Jun	25. Jun	7	341		
BW-303040				7,11	7	
SG-4040F				<5	8,75	

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.6.4 Ionanalytik

Ionenchromatographie Angaben in (mg/l)

und CSB

Auszug

Imecon 2001

		Chlorid							
		4.4.	10.4.	11.4.	10.5.	11.5.	16.5.	17.5.	
Zulauf		74,04	73,10	27,89	75,14	65,56	123,76	113,24	
SG-4040F Permeat		0,44	0,55	0,40	5,43	15,27	5,22	5,89	
		18.5.	9.6.	10.6.	11.6.	12.6.	20.6.	21.6.	Mittelwerte
Zulauf		95,60	61,96	59,90	59,86	61,66	69,14	75,30	78,96
SG-4040F Permeat		12,98	1,10	1,26	5,08	1,03	2,36	1,82	4,74
Rückhalt									93,99
		Nitrit							
		16.5.	17.5.	18.5.	11.6.	12.6.	Mittelwerte		
Zulauf		46,84	7,82	16,54	56,58	64,58	38,472		
SG-4040F Permeat		13,97	0,22	5,96	15,7	5,28	8,226		
Rückhalt									78,618
		Nitrat							
		16.5.	17.5.	18.5.	11.6.	12.6.	Mittelwerte		
Zulauf		7,34		2,48	17,1	12,98	9,975		
SG-4040F Permeat		2,3		0,38	8,74	4,32	3,935		
Rückhalt									60,551
		Phosphat							
		11.5.	16.5.	18.5.		Mittelwerte			
Zulauf		8,22	10,38			6,82		8,4733	
SG-4040F Permeat		3,88	3,95			3,05		3,6267	
Rückhalt									57,199
		Sulfat							
		11.6.	10.5.	12.6.	Mittelwerte				
Zulauf		104,36	117,2	83	101,52				
SG-4040F Permeat		0,94	0,5	0,61	0,6833				
Rückhalt									99,327
Ionenrückhalt % SG-4040-F									
		Chlorid	Nitrit	Nitrat	Phosphat	Sulfat			
		94,0	78,6	60,6	57,2	99,3	77,938		
		CSB							
		4.4.	10.4.	11.4.	10.5.	11.5.	16.5.	17.5.	
Zulauf		668	430	478	341	280	328	289	
SG-4040F Permeat		15	5	5	5	5	5	5	
		18.5.	8.6.	9.6.	10.6.	11.6.	12.6.	20.6.	21.6.
Zulauf		211	183	269	289	281	267	313	402,00
SG-4040F Permeat		5	5	5	5	5	5	5	6,43
Rückhalt									98,40

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.6.5 Sensorik

**Analysenbericht
Imeconproben**

2001

Sensorik

Auszug

Proben- bezeichnung	Modul	Proben-	Analysen-	Geruch	Geruch	Geschmack
		nahme-	Datum	vor Aktivkohle	nach AKF	nach AKF
		Datum	Datum			
BW-303040	1	4. Apr	5. Apr	schwefelartig, Amine		
SG-4040F	2	4. Apr	5. Apr	streng schwefelartig		
BW-303040	1	10. Apr	11. Apr	schwefelartig	neutral	neutral
SG-4040F	2	10. Apr	11. Apr	schwefelartig	abweichend	abweichend
BW-303040	1	11. Apr	12. Apr	streng schwefelartig	neutral	neutral
SG-4040F	2	11. Apr	12. Apr	streng schwefelartig	neutral	abweichend
BW-303040	1	24. Apr	24. Apr	schwefelartig	neutral	neutral
XLE-4040	2	24. Apr	24. Apr	kohlartiger Geruch	neutral	neutral
BW-303040	1	10. Mai	10. Mai	starker Geruchsfehler	abweichend	neutral
SG-4040F	2	10. Mai	10. Mai	starker Geruchsfehler	neutral	neutral
BW-303040	1	11. Mai	11. Mai	sehr starker Geruchsfehler	abweichend	neutral
SG-4040F	2	11. Mai	11. Mai	starker Geruchsfehler	neutral	neutral
BW-303040	1	16. Mai	16. Mai	sehr starker Geruchsfehler	abweichend	neutral
SG-4040F	2	16. Mai	16. Mai	starker Geruchsfehler	neutral	neutral
BW-303040	1	17. Mai	17. Mai	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F	2	17. Mai	17. Mai	kaum wahrnehmbarer Geruch	neutral	neutral
BW-303040	1	8. Jun	12. Jun	kaum wahrnehmbarer Geruch		neutral
SG-4040F	2	8. Jun	12. Jun	starker Geruchsfehler		neutral
BW-303040	1	12. Jun	12. Jun	kaum wahrnehmbarer Geruch	neutral	neutral
SG-4040F	2	12. Jun	12. Jun	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
BW-303040	1	20. Jun	21. Jun	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F	2	20. Jun	21. Jun	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
BW-303040	1	21. Jun	21. Jun	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F	2	21. Jun	21. Jun	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
BW-303040	1	23. Jun	25. Jun	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F	2	23. Jun	25. Jun	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
BW-303040	1	24. Jun	25. Jun	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
BW-303040	1	4. Jul	4. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F	2	4. Jul	4. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F neu	1	11. Jul	11. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F alt	2	11. Jul	11. Jul	starker Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F neu	1	12. Jul	12. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Proben- bezeichnung	Modul	Proben- nahme-	Analysen-	Geruch		Geschmack
		Datum	Datum	vor Aktivkohle	nach AKF	nach AKF
SG-4040F alt	2	12. Jul	12. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F neu	1	13. Jul	13. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F alt	2	13. Jul	13. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F neu	1	14. Jul	17. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F alt	2	14. Jul	17. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F neu	1	15. Jul	17. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F alt	2	15. Jul	17. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F neu	1	16. Jul	17. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F alt	2	16. Jul	17. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F neu	1	18. Jul	18. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F alt	2	18. Jul	18. Jul	leichter Geruchsfehler	neutral	neutral
SG-4040F neu	1	19. Jul	19. Jul	starker Geruchsfehler	neutral	neutral

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.7 Daten FM-Modul Umkehrosrose Analyseergebnisse Permeat und Zulauf Rochem FM- Modul

Probe	Datum	pH-Wert	CSB	Ionenanalytik (alle Werte in mg/l)									
				Chlorid	Nitrat	Sulfat	Phosphat	Nitrit	Natrium	Kalium	Calcium	Magnesium	
UO-Permeat	9.1.02	NDRO	5	6,5	1,4	6,0	0,4		27,5	0,5	0,5		
UO-Permeat	10.1.02	NDRO	6,1	5	2,7		0,4		25,7	0,5	0,5		
UO-Permeat	11.1.02	NDRO	6,36	5	3,2	1,0	5,8		25,5	0,6	0,1		
UO-Permeat	12.1.02	NDRO	7,37	5	24,0	1,0	5,9		195,0	0,9	0,9		
UO-Permeat	13.1.02	NDRO	7,67	5	34,4	1,8	5,9	2,0	266,4	0,4	0,6		
UO-Permeat	14.1.02	NDRO	7,94	5	38,2	4,6	6,0		284,2	3,0	0,5		
UO-Permeat	20.4.02	BKKS 0,5	6,85	5	15,9		8,1	0,2	0,0	7,2	0,0	0,4	0,4
UO-Permeat	21.4.02	BKKS 0,5	7,14	9,2	28,1		6,0	0,2	0,0	39,5	1,1	0,9	0,2
UO-Permeat	22.4.02	BKKS 0,5	7,6	8,6	38,5		9,2	0,2	0,0	73,7	2,4	0,8	0,3
UO-Permeat	23.4.02	BKKS 0,5		9,9	58,2		10,8	0,2	0,0	143,4	5,7	3,0	0,6
UO-Permeat	24.4.02	BKKS 0,5	7,44	9,9	15,0		5,1	0,2	0,0	37,0	0,9	2,1	0,0
Mittelwert			7,2	6,6	24,1	2,0	6,9	0,3	0,3	102,3	1,4	0,9	0,3
Zulauf	9.1.02		179,0	60,6		72,2	4,3		965,9	18,4	31,1		
Zulauf	10.1.02		8,27	195,0	56,5		62,6	4,6	1026,4	21,9			
Zulauf	11.1.02		8,05	166,0	53,5	10,3	59,2		991,0	20,2	36,2		
Zulauf	12.1.02		8	165,0	53,3	10,4	59,2		1081,2	29,3	39,8		
Zulauf	13.1.02		8,14	173,0	59,8	11,1	62,7	3,6	931,2	25,6	41,1		
Zulauf	14.1.02		8,04	293,0	67,7	10,3	89,2	10,5	916,4	24,1	45,5		
Zulauf	20.4.02		7,9	865	182,8		74,0	1,6	0,0	315,6	9,0	18,6	7,3
Zulauf	21.4.02		8,08	767	197,0		72,0	2,0	0,0	319,4	5,9	23,0	4,1
Zulauf	22.4.02		8,13	472	197,5		188,9	1,5	0,0	342,9	7,3	23,7	0,7
Zulauf	23.4.02		8,23	242	202,0		79,9	2,3	0,0	341,2	8,5	23,7	0,8
Zulauf	24.4.02		8,16	693	186,7		63,1	2,0	0,0	403,8	10,1	19,6	0,5
Mittelwert			8,1	382,7	119,8	10,5	80,3	2,6	2,0	694,1	16,4	30,2	2,7
Rückhalt			98,3	79,9	81,4	91,4	90,2	83,5	85,3	91,2	96,9	88,6	

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.8 Daten MDS Keramische Ultrafiltration mit Umkehrosiose

Messwerte in ppm Leitfähigkeit in mS/m NA = nicht auswertbar

Probe	2004 Dat.	pH- Wert	Dr. Lange				Ionenanalytik							
			N- Ges	CSB	PO4-P	Leitf.	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Rohwasser	26.10	10,10	86,4	2758	15,00		197	14	101	10				
UF-Konz.	26.10	10,61	80,4	2316	25,70		270	23	72	8				
UF-Filtrat	26.10	10,72	58,8	2696	2,20		199	18	49	7				
Permeat	26.10	11,76	15,9	594	0,40		2	4	1	0				
Rohwasser	28.10	9,17	87,8	2478	16,30		28	0	30	0				
UF-Konz.	28.10	11,84	107,0	3052	26,40		44	154	48	2				
UF-Filtrat	28.10	11,90	72,0	2992	2,22		49	172	40	1				
Permeat	28.10	10,58	22,1	1486	0,35		4	37	0	0				
Rohwasser	29.10	12,14	135,0	2752	10,90	733	19	168	27	2				
UF-Konz.	29.10	12,03	110,0	3112	16,30	629	22	163	34	3				
UF-Filtrat	29.10	12,12	64,4	1940	2,36	607	24	175	24	2				
Permeat	29.10	11,90	13,4	342	0,11	192	3	36	0	0				
Rohwasser	2.11	7,48	87,0	2816	7,13	497	55	0	6	0				
UF-Konz.	2.11	11,71	112,0	2988	17	483	27	142	31	5				
UF-Filtrat	2.11	11,85	72,0	2140	2,74	482	28	155	29	6				
Permeat	2.11	11,80	11,6	536	0,13	134	1	22	1	2				
Rohwasser	3.11	12,06	99,0	2760	8,6	725	36	129	66	4				
UF-Konz.	3.11	11,94	134,0	2892	18,3	631	36	131	73	5				
UF-Filtrat	3.11	11,99	83,1	1831	2,53	631	35	128	65	4				
Permeat	3.11	11,51	18,3	661	0,5	68	1	10	1	1				
Rohwasser	4.11	11,94	131,0	4236	12,2	637								
UF-Konz.	4.11	10,79	118,0	4308	19	417								
UF-Filtrat	4.11	10,89	91,9	3412	4,9	397								
Permeat	4.11	11,29	38,1	1113	0,08	49								
Rohwasser	5.11	12,07	155,0	2364	9,38	754								
UF-Konz.	5.11	11,98	96,4	2664	13,5	646								
UF-Filtrat	5.11	12,03	66,2	1872	3,26	639								
Permeat	5.11	11,76	30,9	931	0,16	117								

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Probe	Dat.	pH-Wert	N-Ges	CSB	PO4-P	Leitfähig-	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Rohwasser	9.11	8,11	107,0	247	2,47	399									
UF-Konz.	9.11	8,30	127,1	274	2,74	377									
UF-Filtrat	9.11	8,23	15,4	125	0,95	376									
Permeat	9.11	6,36	4,6	15	0,14	15									
Rohwasser	10.11	8,06	40,5	397	2,76	413									
UF-Konz.	10.11	8,20	57,4	415	3,75	396									
UF-Filtrat	10.11	8,13	7,1	156	1,26	394									
Permeat	10.11	6,92	2,4	15	0,44	18									
Rohwasser	15.11	8,09	38,0	410	3,91	389									
UF-Konz.	15.11	8,98	42,7	508	5,19	372									
UF-Filtrat	15.11	9,15	24,3	204	2,71	361									
Permeat	15.11	7,51	3,0	12	0,13	11									
Rohwasser	16.11	8,14	28,6	393	3,40	373									
UF-Konz.	16.11	8,13	36,7	508	4,85	366									
UF-Filtrat	16.11	8,21	9,2	93	0,44	366									
Permeat	16.11	6,87	3,0	56	0,29	9									
Rohwasser	17.11	7,97	27,5	480	4,28	383									
UF-Konz.	17.11	8,17	32,6	580	5,09	361									
UF-Filtrat	17.11	8,12	6,6	106	1,58	360									
Permeat	17.11	7,86	2,3	19	0,23	165									
Rohwasser	18.11	7,89	27,5	520	4,17	379									
UF-Konz.	18.11	8,10	34,7	646	5,09	360									
UF-Filtrat	18.11	8,03	7,9	120	1,62	356									
Permeat	18.11	7,23	3,1	10	0,12	43									
Rohwasser	19.11	7,87	27,7	473	4,28	372									
UF-Konz.	19.11	8,05	31,5	532	4,82	353									
UF-Filtrat	19.11	7,99	12,9	121	1,72	350									
Permeat	19.11	7,67	2,7	12	0,01	33									
Rohwasser	30.11	Probe fehlt													
UF-Konz.	30.11	8,15	36,6	516		338	110	4	71	34	NA	33	73	16	
UF-Filtrat	30.11	8,14	12,1	81		335	101	9	62	23	NA	36	72	17	
Permeat	30.11	7,43	1,5	17		29	8	0	2	0	188	0	4	0	

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Probe	Dat.	pH-Wert	N-Ges	CSB	PO4-P	Leitf.-	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Rohwasser	1.12	8,03	20,8	294		372	98	1	61	0	NA	33	72	15
UF-Konz.	1.12	8,11	40,4	607		355	109	0	78	0	NA	41	92	20
UF-Filtrat	1.12	8,10	7,2	95		356	67	0	42	5	NA	36	76	18
Permeat	1.12	7,39	1,6	12		76	15	0	3	0	363	1	4	1
Rohwasser	2.12	7,95	18,7	252		388	82	1	46	3	1189	0	23	13
UF-Konz.	2.12	8,05	41,8	613		373	88	0	47	3	1084	0	22	22
UF-Filtrat	2.12	8,01	8,6	108		404	72	0	41	2	NA	0	26	21
Permeat	2.12	7,38	2,0	11		70	17	0	3	0	NA	0	2	1
Rohwasser	3.12	8,07	24,5	282	2,86	422	128	12	88	5	NA	0	80	21
UF-Konz.	3.12	8,13	53,3	787	6,62	405	123	0	86	10	NA	0	106	19
UF-Filtrat	3.12	8,12	10,2	121	1,89	405	89	0	59	5	NA	0	94	17
Permeat	3.12	7,59	2,0	16	0,15	92	18	0	4	0	443	0	0	0
Rohwasser	6.12	8,04	33,2	186		401	145	77	60	0	1120	0	22	29
UF-Konz.	6.12	8,16	41,9	466		385	163	96	75	0	907	0	20	23
UF-Filtrat	6.12	8,19	28,2	129		384	158	85	65	0	NA	0	28	28
Permeat	6.12	7,56	7,9	11		74	49	27	11	0	NA	0	3	3
Rohwasser	7.12	7,98	22,0	194	2,06	387	204	58	99	0	1145	0	23	24
UF-Konz.	7.12	8,12	33,5	1146	3,68	370	185	37	85	0	774	0	35	29
UF-Filtrat	7.12	8,07	15,9	134	0,997	372	187	43	82	0	NA	0	32	31
Permeat	7.12	7,49	5,8	13	0,166	82	38	15	6	0	NA	0	2	3
Rohwasser	8.12	7,98	17,9	183	1,74	370	180	29	104	0	1117	0	22	25
UF-Konz.	8.12	8,16	60,6	488	8,27	356	153	1	118	10	1132	0	27	24
UF-Filtrat	8.12	8,16	9,4	127	1,13	358	155	1	76	12	NA	0	29	30
Permeat	8.12	7,62	3,5	11	0,118	76	42	4	6	2	NA	0	2	2
Rohwasser	9.12	7,94	13,1	218	1,95	392	116	9	59	1	1167	0	23	25
UF-Konz.	9.12	8,08	119	2152	15	379	109	0	54	1	1089	0	29	24
UF-Filtrat	9.12	8,04	8,5	151	1,48	381	139	0	67	1	NA	0	25	24
Permeat	9.12	7,57	2,3	67	0,132	82	38	0	6	0	NA	0	2	2
Rohwasser	10.12	7,82	17,1	146	1,18	403								
UF-Konz.	10.12	7,96	204	3588	20,4	386	Probenmenge nicht ausreichend							
UF-Filtrat	10.12	7,94	12,3	112	1,49	389								
Permeat	10.12	7,30	4,7	15	0,15	67								

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Probe	Dat.	pH-Wert	N-Ges	CSB	PO4-P	Leitfähig-	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Rohwasser	13.12	8,10	31,1	202	1,98	404	104	74	71	3	1290	27	9	0
UF-Konz.	13.12	8,12	279	2750	29,5	3958	83	5	57	4	1240	29	21	0
UF-Filtrat	13.12	8,09	25,9	144	1,80	395	74	41	54	5	1135	23	11	0
Permeat	13.12	7,42	4,6	15	0,29	67	13	2	3	0	177	3	2	0
Rohwasser	16.12	7,57	18,5	212	2,04	352								
UF-Konz.	16.12	7,85	254,0	3068	41	357	Probenmenge nicht ausreichend							
UF-Filtrat	16.12	7,87	9,5	98	1,02	355								
Permeat	16.12	7,53	4,8	13	0,317	99								
Rohwasser	17.12	7,46	19,8	217	2,24	368	68	26	43	2	1131	21	19	0
UF-Konz.	17.12	7,86	66,2	346	4,09	364	92	14	69	2	1121	20	21	0
UF-Filtrat	17.12	7,88	21,2	85	1,03	363	112	39	81	1	1159	17	21	0
Permeat	17.12	8,21	8,3	19	0,34	51	12	8	4	0	111	2	1	0
Rohwasser	20.12	8,14	34,7	111	1,8	391	119	96	109	3	1258	25	19	0
UF-Konz.	20.12	8,13	36,1	162	2,37	391	111	84	124	3	1230	16	16	0
UF-Filtrat	20.12	8,17	31,2	74	1,48	389	129	99	97	3	1262	25	7	0
Permeat	20.12	7,27	11,8	12	0,151	61	18	25	5	0	137	2	1	0
Rohwasser	21.12	8,13	24,2	199	2,17	373	104	43	66	1	1259	20	7	0
UF-Konz.	21.12	8,18	33,2	346	3,85	375	87	22	58	2	1236	19	14	0
UF-Filtrat	21.12	8,22	15,6	72	0,865	373	114	32	75	2	1146	18	15	0
Permeat	21.12	7,29	4,1	10	0,067	47	14	8	3	0	123	2	0	0
Rohwasser	22.12	8,09	58,2	249	3,01	336	106	1	81	1	1199	16	14	0
UF-Konz.	22.12	8,08	28,1	373	4,2	337	101	0	71	0	1181	10	14	0
UF-Filtrat	22.12	8,14	5,7	85	0,91	338	96	3	68	1	1259	17	13	0
Permeat	22.12	7,23	0,7	8	0,725	47	16	1	3	0	136	1	1	0
Rohwasser	23.12	8,07	17,4	310	2,36	390	115	0	72	1	1146	16	14	0
UF-Konz.	23.12	8,07	44,4	683	7,15	397	121	0	111	1	1248	16	20	0
UF-Filtrat	23.12	8,10	4,0	88	0,394	395	119	0	101	0	1204	20	17	0
Permeat	23.12	7,26	1,9	9	0,077	31	11	1	6	0	75	1	1	0

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.9 Daten Ultrafiltration KMS

Alle Messwerte in ppm Leitfähigkeit in mS/m U=Unit NA = nicht auswertbar, weil Wert zu hoch NN = nicht nachweisbar

Probe	Datum	pH	Dr. Lange		PO4-P	Ionenanalytik (alle Werte in mg/L)								
			N-Ges.	CSB		Leitf.	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
UF-Rohw.	10.11.05	8,12	15,1	204	2,51		93	57	61	10	NN	1249	28	30
UF-Rohw.	11.11.05	8,15	19,6	190	4,88	409	92	58	54	8	2	1303	25	29
UF-Rohw.	12.11.05	8,08	19,0	147	6,50	422	99	26	71	15	3	1218	22	26
UF-Rohw.	13.11.05	8,07	22,3	153	7,71	419	70	67	47	15	NN	1182	23	19
UF-Rohw.	14.11.05	8,27	23,8	141	8,29	420	81	29	66	13	5	1310	25	21
UF-Rohw.	15.11.05	8,28	16,4	139	7,2	417	81	43	57	14	2	1265	23	24
UF-Rohw.	16.11.05	8,06	9,08	140	4,6	402	68	12	54	7	2	1229	25	25
UF-Rohw.	17.11.05	7,98	12,5	173	4,11	404	84	15	63	4	19	1294	26	31
UF-Rohw.	18.11.05	7,91	17,4	218	3,76	418	69	10	60	4	18	1306	21	31
UF-Rohw.	19.11.05	7,9	16,0	195	4,86	422	68		67	7	2	1217	22	29
UF-Rohw.	20.11.05	7,89	21,3	138	5,38	436	71		60		4	1242	25	21
UF-Rohw.	21.11.05	8,08	27,7	140	6,05	441	68	102	67	12	4	1159	20	21
UF-Rohw.	22.11.05	8,08	20,5	168	5,69	433	60	72	67	12	18	1161	22	20
UF-Rohw.	23.11.05	8,09	16,9	249	5,26	426	53		55	8	7	1330	27	30
UF-Rohw.	24.11.05	7,95	14,1	265	4,77	428	66		47	5	12	1202	22	32
UF-Rohw.	25.11.05	7,95	19,6	184	4,8	430	73		48	6	30	1331	26	26
UF-Rohw.	26.11.05	8,09	21,8	139	5,04	428	77	72	55	15	NN	1227	23	21
UF-Rohw.	27.11.05	8,14	25,3	127	5,67	431	61	80	52	9	2	1223	26	20
UF-Rohw.	27.11.05	8,43	25,6	138	5,68	437	64	88	46	11	3	1216	27	22
UF-Rohw.	28.11.05	8,43	25,6	138	5,68	437	72	108	54	14	3	1358	28	19
UF-Rohw.	29.11.05	8,17	8,85	152	3,12	423								
UF-Rohw.	30.11.05		13,4	141	2,37		49	12	45	4	9	1261	22	22
UF-Filtrat	10.11.05	8,84	9,3	90	1,72	405	86		68	3	NN	1219	24	21
UF-Filtrat	11.11.05	9,06	16,5	95	4,07	417	86	36	52	8	10	1249	24	21
UF-Filtrat	12.11.05	8,88	19,7	90	5,48	420	86	59	57	11	5	1293	25	23
UF-Filtrat	13.11.05	8,84	20,5	92,1	6,81	421	77	72	55	15	NN	1227	23	21
UF-Filtrat	14.11.05	8,9	24,3	83,8	7,81	424	86	83	60	19	3	1325	27	25
UF-Filtrat	15.11.05	8,87	15,2	79,9	7,16	415	79	32	55	14	3	1325	24	23
UF-Filtrat	16.11.05	8,78	9,93	78,6	5,02	399	80	36	64	13	2	1161	23	18
UF-Filtrat	17.11.05	8,74	5,15	75,7	3,22	405	80	10	62	6	3	1280	26	22
UF-Filtrat	18.11.05	8,77	7,98	89,5	2,86	414	65	14	49	4	3	1073	23	16
UF-Filtrat	19.11.05	8,7	17,9	89,9	4,06	430	75	47		5	NN	1120	21	26
UF-Filtrat	20.11.05	8,72	22,4	89,1	5,1	441	73	59	76		3	1328	27	30
UF-Filtrat	21.11.05	8,75	27,6	84,9	5,75	445	65	114	67	13	2	1404	26	29
UF-Filtrat	22.11.05	8,8	21	95,5	5,39	433	57	60	69	9	7	1333	24	22
UF-Filtrat	23.11.05	8,76	11,9	114	4,25	424	57	40	65	8	NN	1291	25	29
UF-Filtrat	24.11.05	8,66	10,6	89,5	3,67	429	74	11	68	3	2	1007	21	23
UF-Filtrat	25.11.05	8,59	17,9	111	4,95	435	74	53	50	6	5	1378	31	35
UF-Filtrat	26.11.05	8,98	23,9	90,3	5,87	433	92	94		13	NN	1292	27	27
UF-Filtrat	27.11.05	8,86	25,1	89,9	5,47	436	58	36	32	5	NN	1228	20	21
UF-Filtrat	27.11.05	8,94	28,8	88,9	6,15	455	73	90	54	12	NN	1203	20	18
UF-Filtrat	28.11.05	8,94	28,8	88,9	6,15	455	70	114	53	14	NN	1398	27	14
UF-Filtrat	29.11.05	8,8	9,47	80,7	3,35	427								
UF-Filtrat	30.11.05		6,38	88,2	2,16		50	29	50	6	NN	1215	23	19
		pH	N-Ges.	CSB	PO4-P	Leitf.	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
Filtrat Mittelwerte		8,82	17,29	90	4,8	427	73	54	58	9	4	1255	24	23
Rohw. Mittelwerte		8,10	18,72	167	5,2	424	72	53	57	10	8	1252	24	25
Mittlere Abweichung Rohw.				31										
Mittlere Abweichung Filtrat				5,46										

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.10 Daten Mikrofiltration und Umkehrosiose GE-Pall

17.10.1 Daten der regelmäßigen Analysen

Alle Messwerte in ppm

Leitfähigkeit in mS/m

NN = nicht auswertbar

Probe	Datum	pH	Dr. Lange				Ionenanalytik (alle Werte in mg/l)												
			N-Ges.	CSB	PO4-P	Leitf.	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺					
MF-Zulauf	11.01.2006	8,15	22,8	530	7,75	433													
MF-Zulauf	12.01.2006	8,05	16	446	6,56	440													
MF-Zulauf	13.01.2006	7,99	15,1	319	4,79	440	72		86	3			1192	25	40				
MF-Zulauf	14.01.2006	8,07	16,1	314	6,13	440	68		54	9	10		1364	27	48				
MF-Zulauf	15.01.2006	8,2	28,4	192	7,69	450	62	73	55	15	16		1239	27	16				
MF-Zulauf	16.01.2006	8,31	35	205	9,16	453	61	117	53	18	4		1224	25	24				
MF-Zulauf	17.01.2006	8,15	20,7	223	7,66	423	64	40	54	13	2		1284	25	27				
MF-Zulauf	18.01.2006	8,12	14,7	286	6,56	429	59		56	7			1266	24	52				
MF-Zulauf	19.01.2006	8,03	17	315	6,04	438	60	6	49	5	2		1130	21	53				
MF-Zulauf	20.01.2006						79	28	71	13	17		1353	26	44				
MF-Zulauf	22.01.2006	7,02	42,2	200	9,08	450	72	134	61	18	2		1308	26	61				
MF-Zulauf	23.01.2006	8,28	45,2	225	10,4	465	79	158	68	23	1		1340	28	69				
MF-Zulauf	24.01.2006	7,88	28,7	182	7,82	422	76	94	92	18			1294	26	37				
MF-Zulauf	25.01.2006	7,88	21,3	243	6,29	418	63	26	63	7			1183	20	46				
MF-Zulauf	26.01.2006	7,98	63	310	5,55	437	67	16	64	5	1		1245	19	31				
MF-Zulauf	27.01.2006	8	33,8	258	6,69	438	74	43	94	11	9		1413	29	34				
MF-Zulauf	28.01.2006																		
MF-Zulauf	29.01.2006	8,01	40,4	394	9,28	456	70	57	83	19	1		1365	30	47				
MF-Zulauf	30.01.2006	8,25	41,9	167	8,99	460	84	141	93	22	1		1470	36	53				
MF-Zulauf	31.01.2006	8,19	28,2	177	7,93	453	77	99	92	17	2		1505	30	34				
MF-Zulauf	01.02.2006	7,8	22,4	239	6,6	454	71	45	92	8			1532	28	23				
MF-Zulauf	02.02.2006	8,08	20	307	5,4	456	77	9	77	5	1		1502	29	51				
MF-Zulauf	03.02.2006	7,81	25,3	286	5,99	466	63	9	57	6			1513	30	40				
MF-Zulauf	04.02.2006	7,94	23,2	187	6,36	464	95	45	87	14	31		1450	34	44				
MF-Zulauf	05.02.2006	8,13	32,8	176	7,15	478	103	94	95	17	35		1587	40	48				
MF-Zulauf	06.02.2006	8,32	36,8	316	8,31	490	81	98	72	12	3		1363	29	43				
MF-Zulauf	07.02.2006	8,37	18	215	4,94	457	88	28	87	9	5		1569	40	32				
MF-Zulauf	08.02.2006	8,32	20,7	368	4,62	471	74	2	68	6			1604	37	29				
MF-Zulauf	09.02.2006	7,96	9,38	273	3,75	477	67		65	3			1633	35	30				
MF-Zulauf	10.02.2006	8,08	14,8	305	4,66	522	350		67	3			1591	31	42				
MF-Zulauf	11.02.2006	7,82	9,73	184	4,04	555	512		74	5			1826	32	45				
MF-Zulauf	12.02.2006	8,09	20,3	251	6,29	577	555	2	70	5			1756	35	47				
MF-Zulauf	13.02.2006	8,23	28,1	220	4,19	581	524	57	75	8	18		1824	37	53				
MF-Zulauf	14.02.2006	7,88	17,7	233	4,47	509	482	35	70	4	1		1650	36	49				
MF-Zulauf	15.02.2006	8,15	11,9	281	3,3	493	329		68	2			1664	28	23				
MF-Zulauf	16.02.2006	8,00	10,1	314	3,22	484	224		72				1660	28	24				
MF-Zulauf	17.02.2006	7,91	16,5	347	4,03	473	159		111	2			1597	36	28				
MF-Zulauf	18.02.2006	8,08	12,8	177	3,48	468	144	5	64	4	3		1570	32	27				
MF-Zulauf	19.02.2006	8,14	38,2	338	8,55	472	154	32	73	7	24		1581	30	21				
MF-Zulauf	20.02.2006	8,24	29,9	197	4,54	464	110	72	59	11	7		1430	30	23				
MF-Zulauf	21.02.2006	8,07	26,9	312	6,34	428	115	44	72	7			1415	28	20				
MF-Zulauf	22.02.2006	7,95	21,7	348	5,48	439	89	14	73	3			1407	27	14				
MF-Zulauf	23.02.2006	7,76	15,6	335	4,65	444	117		73				1458	27	39				
MF-Zulauf	24.02.2006	7,93	26,2	329	4,82	439	85	2	59	4	1		1561	34	53				
MF-Zulauf	25.02.2006	7,87	28,3	233	4,53	457	84	37	59	6	20		1484	30	32				
MF-Zulauf	26.02.2006	7,93	32,3	194	4,49	459	92	72	106	7	13		1455	32	19				
MF-Zulauf	27.02.2006	8,03	41,3	214	5,74	460	84	109	62	8	1		1479	32	30				
MF-Zulauf	28.02.2006	8,07	29,1	226	4,27	413	65	58	52	4				25	8				
MF-Zulauf	01.03.2006	8,02	23,7	301	4,57	407	71	45	64	3			1430	31	36				
MF-Zulauf	02.03.2006	7,95	26,6	342	4,16	462	79	43	69	4	3		1558	33	6				
MF-Zulauf	03.03.2006	7,82	24,5	287	4,08	461	90	47	76	2	5		1648	37	10				
MF-Zulauf	04.03.2006	7,85	29,9	196	4,35	455	76	32	90				1362	30	13				
MF-Zulauf	05.03.2006	7,93	33,9	172	5,77	465	59	48	52	3			1535	33	9,8				
MF-Zulauf	06.03.2006	8,22	37,6	175	6,19	470	70	77	69	4			1571	37	7				
MF-Zulauf	07.03.2006	8,18	20,4	158	4,28	428	79	60	73	7	1		1397	40					
MF-Zulauf	08.03.2006	8,17	5,9	186	2,78	406	66		63	2			1345	30					
MF-Zulauf	09.03.2006	8,06	11,1	238	3,24	454	98		77	2			1505	31	13				
MF-Zulauf	10.03.2006	7,9	9,3	222	3,25	471	119		73	2			1620	30	12				
MF-Zulauf	11.03.2006	7,8	15	114	3,76	480	101	40	67	7	3		1534	28	4				
MF-Zulauf	12.03.2006	8,11	19,2	92	4,57		106	77	70	6	1		1593	28					
MF-Zulauf	13.03.2006	8,31	19,6	102	5,21		114	85	72	11								9	

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Alle Messwerte in ppm

Leitfähigkeit in mS/m

NN = nicht auswertbar

Probe	Datum	pH	Dr. Lange			Leitf.	Ionenanalytik (alle Werte in mg/l)										
			N-Ges.	CSB	PO4-P		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺			
MF-Zulauf	11.01.2006	8,15	22,8	530	7,75	433											
MF-Zulauf	12.01.2006	8,05	16	446	6,56	440											
MF-Zulauf	13.01.2006	7,99	15,1	319	4,79	440	72		86	3		1192	25	40			
MF-Zulauf	14.01.2006	8,07	16,1	314	6,13	440	68		54	9	10	1364	27	48			
MF-Zulauf	15.01.2006	8,2	28,4	192	7,69	450	62	73	55	15	16	1239	27	16			
MF-Zulauf	16.01.2006	8,31	35	205	9,16	453	61	117	53	18	4	1224	25	24			
MF-Zulauf	17.01.2006	8,15	20,7	223	7,66	423	64	40	54	13	2	1284	25	27			
MF-Zulauf	18.01.2006	8,12	14,7	286	6,56	429	59		56	7		1266	24	52			
MF-Zulauf	19.01.2006	8,03	17	315	6,04	438	60	6	49	5	2	1130	21	53			
MF-Zulauf	20.01.2006						79	28	71	13	17	1353	26	44			
MF-Zulauf	22.01.2006	7,02	42,2	200	9,08	450	72	134	61	18	2	1308	26	61			
MF-Zulauf	23.01.2006	8,28	45,2	225	10,4	465	79	158	68	23	1	1340	28	69			
MF-Zulauf	24.01.2006	7,88	28,7	182	7,82	422	76	94	92	18		1294	26	37			
MF-Zulauf	25.01.2006	7,88	21,3	243	6,29	418	63	26	63	7		1183	20	46			
MF-Zulauf	26.01.2006	7,98	63	310	5,55	437	67	16	64	5	1	1245	19	31			
MF-Zulauf	27.01.2006	8	33,8	258	6,69	438	74	43	94	11	9	1413	29	34			
MF-Zulauf	28.01.2006																
MF-Zulauf	29.01.2006	8,01	40,4	394	9,28	456	70	57	83	19	1	1365	30	47			
MF-Zulauf	30.01.2006	8,25	41,9	167	8,99	460	84	141	93	22	1	1470	36	53			
MF-Zulauf	31.01.2006	8,19	28,2	177	7,93	453	77	99	92	17	2	1505	30	34			
MF-Zulauf	01.02.2006	7,8	22,4	239	6,6	454	71	45	92	8		1532	28	23			
MF-Zulauf	02.02.2006	8,08	20	307	5,4	456	77	9	77	5	1	1502	29	51			
MF-Zulauf	03.02.2006	7,81	25,3	286	5,99	466	63	9	57	6		1513	30	40			
MF-Zulauf	04.02.2006	7,94	23,2	187	6,36	464	95	45	87	14	31	1450	34	44			
MF-Zulauf	05.02.2006	8,13	32,8	176	7,15	478	103	94	95	17	35	1587	40	48			
MF-Zulauf	06.02.2006	8,32	36,8	316	8,31	490	81	98	72	12	3	1363	29	43			
MF-Zulauf	07.02.2006	8,37	18	215	4,94	457	88	28	87	9	5	1569	40	32			
MF-Zulauf	08.02.2006	8,32	20,7	368	4,62	471	74	2	68	6		1604	37	29			
MF-Zulauf	09.02.2006	7,96	9,38	273	3,75	477	67		65	3		1633	35	30			
MF-Zulauf	10.02.2006	8,08	14,8	305	4,66	522	350		67	3		1591	31	42			
MF-Zulauf	11.02.2006	7,82	9,73	184	4,04	555	512		74	5		1826	32	45			
MF-Zulauf	12.02.2006	8,09	20,3	251	6,29	577	555	2	70	5		1756	35	47			
MF-Zulauf	13.02.2006	8,23	28,1	220	4,19	581	524	57	75	8	18	1824	37	53			
MF-Zulauf	14.02.2006	7,88	17,7	233	4,47	509	482	35	70	4	1	1650	36	49			
MF-Zulauf	15.02.2006	8,15	11,9	281	3,3	493	329		68	2		1664	28	23			
MF-Zulauf	16.02.2006	8,00	10,1	314	3,22	484	224		72			1660	28	24			
MF-Zulauf	17.02.2006	7,91	16,5	347	4,03	473	159		111	2		1597	36	28			
MF-Zulauf	18.02.2006	8,08	12,8	177	3,48	468	144	5	64	4	3	1570	32	27			
MF-Zulauf	19.02.2006	8,14	38,2	338	8,55	472	154	32	73	7	24	1581	30	21			
MF-Zulauf	20.02.2006	8,24	29,9	197	4,54	464	110	72	59	11	7	1430	30	23			
MF-Zulauf	21.02.2006	8,07	26,9	312	6,34	428	115	44	72	7		1415	28	20			
MF-Zulauf	22.02.2006	7,95	21,7	348	5,48	439	89	14	73	3		1407	27	14			
MF-Zulauf	23.02.2006	7,76	15,6	335	4,65	444	117		73			1458	27	39			
MF-Zulauf	24.02.2006	7,93	26,2	329	4,82	439	85	2	59	4	1	1561	34	53			
MF-Zulauf	25.02.2006	7,87	28,3	233	4,53	457	84	37	59	6	20	1484	30	32			
MF-Zulauf	26.02.2006	7,93	32,3	194	4,49	459	92	72	106	7	13	1455	32	19			
MF-Zulauf	27.02.2006	8,03	41,3	214	5,74	460	84	109	62	8	1	1479	32	30			
MF-Zulauf	28.02.2006	8,07	29,1	226	4,27	413	65	58	52	4			25	8			
MF-Zulauf	01.03.2006	8,02	23,7	301	4,57	407	71	45	64	3		1430	31	36			
MF-Zulauf	02.03.2006	7,95	26,6	342	4,16	462	79	43	69	4	3	1558	33	6			
MF-Zulauf	03.03.2006	7,82	24,5	287	4,08	461	90	47	76	2	5	1648	37	10			
MF-Zulauf	04.03.2006	7,85	29,9	196	4,35	455	76	32	90			1362	30	13			
MF-Zulauf	05.03.2006	7,93	33,9	172	5,77	465	59	48	52	3		1535	33	9,8			
MF-Zulauf	06.03.2006	8,22	37,6	175	6,19	470	70	77	69	4		1571	37	7			
MF-Zulauf	07.03.2006	8,18	20,4	158	4,28	428	79	60	73	7	1	1397	40				
MF-Zulauf	08.03.2006	8,17	5,9	186	2,78	406	66		63	2		1345	30				
MF-Zulauf	09.03.2006	8,06	11,1	238	3,24	454	98		77	2		1505	31	13			
MF-Zulauf	10.03.2006	7,9	9,3	222	3,25	471	119		73	2		1620	30	12			
MF-Zulauf	11.03.2006	7,8	15	114	3,76	480	101	40	67	7	3	1534	28	4			
MF-Zulauf	12.03.2006	8,11	19,2	92	4,57		106	77	70	6	1	1593	28				
MF-Zulauf	13.03.2006	8,31	19,6	102	5,21		114	85	72	11							9
MF-Zulauf	14.03.2006	8,28	7,47	92	3,22	455											

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Alle Messwerte in ppm

Leitfähigkeit in mS/m

NN = nicht auswertbar

Probe	Datum	pH	Dr. Lange				Ionenanalytik (alle Werte in mg/l)							
			N-Ges.	CSB	PO4-P	Leitf.	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
MF-Zulauf	15.03.2006	8,08	5,41	135	2,3	448	85		86			1521	26	
MF-Zulauf	16.03.2006	7,91	9,5	233	2,13	467	93		63	2		1309	21	36
MF-Zulauf	17.03.2006	7,88	5,99	159	2,1	481	100		73	2		1557	25	40
MF-Zulauf	18.03.2006	7,81	11,2	112	2,6	485	85	7	61	4	2	1532	31	48
MF-Zulauf	19.03.2006	7,83	18,9	101	3,31	485	95	69	67	6	4	1549	35	51
MF-Zulauf	20.03.2006	8,11	24,4	100	3,97	473	103	100	86	9	1	1491	33	44
MF-Zulauf	21.03.2006	8,26	11,9	105	3,42	448	101	56	96	7	2	1540	37	52
MF-Zulauf	22.03.2006	8,07	7,29	155	2,73	442	75		80	1		1425	31	31
MF-Zulauf	23.03.2006	7,72	11,7	282	2,76	441	95		66			1604	30	36
MF-Zulauf	24.03.2006	7,83	16,9	289	3,06	477	84		59			1545	33	49
MF-Zulauf	25.03.2006	7,59	12,9	229	2,87	477	81		49			1432	28	55
MF-Zulauf	26.03.2006	7,88	10,9	214	2,69	519	84		46	2	1	1554	34	34
MF-Zulauf	27.03.2006	8,15	27,2	154	5,63	529	86	82	50		1	1383	29	34
MF-Zulauf	28.03.2006	8,12	10,9	171	3,69	465	103	18	80	6	1	1524	30	40
MF-Zulauf	29.03.2006	8,03	9,19	229	8,22	464	77		52	1		1345	22	40
MF-Zulauf	30.03.2006	8,02	11	280	2,94	480	93		53	1		1445	23	35
MF-Zulauf	31.03.2006	7,90	15,9	231	2,27	479	108		59	1		1527	25	50
MF-Zulauf	03.04.2006	8,08	24	119	4,11	464	93	66	54	7	1	1412	27	53
MF-Zulauf	08.04.2006	7,82	6,3	194	3,3	464	126		65				13	29
MF-Zulauf	09.04.2006	7,95	12,08	188	4,1	475	132	3	46	3	3			
MF-Zulauf	10.04.2006	8,03	20,9	199	5,3	473	138	35	39	5	4			
MF-Zulauf	11.04.2006	7,93	15	196	3	440	107	23	43	9	2	1374	26	34
MF-Zulauf	12.04.2006	8,03	11,7	176	2,8	434	81		46	1		1465	25	38
MF-Zulauf	13.04.2006	7,82	12	335	4,3	421	90		42			1437	28	43
MF-Zulauf	14.04.2006	7,84	13,5	204	2,8	447	86		40			1308	21	46
MF-Zulauf	15.04.2006	7,86	20,6	210	3,9	466	83		42			1281	24	43
MF-Zulauf	16.04.2006	8	22,4	166	4,6	472	74	28	43	7	4			
MF-Zulauf	17.04.2006	8,13	27,5	182	5,8	478	82	1	43	10	0,5	1473	33	16
MF-Zulauf	18.04.2006	8,27	27,8	183	6,3	479	86	80	64	9	2	1444	30	2
MF-Zulauf	19.04.2006	8,2	21,1	180	4,9	397	79	26	45	4	0,6	1415	25	NA
MF-Zulauf	20.04.2006	7,73	11,8	265	3,8	419	73	4	40	1	0,4	1300	24	17
MF-Zulauf	21.04.2006	8,16	16,9	237	3,4	448								
MF-Zulauf	22.04.2006	7,97	17,7	143	3,49	466	61	31,1	40,7	3,7	0,8	1417	28	12
MF-Zulauf	23.04.2006	7,99	32,1	152	4,53	476	57	54,5	36,8	4,5	1,1	1335	27	16
MF-Zulauf	24.04.2006	8,1	80,2	179	5,84	481	63	93,4	55,5	6,8	0,8	1439	30	21
MF-Zulauf	25.04.2006	8,13	23	192	4,17	422	60	51	63	4	0,4	1425	33	
MF-Zulauf	26.04.2006	8,13	14,8	262	2,8	417	50	13	41		0,3	1410	29	7
MF-Zulauf	27.04.2006	7,9	10,4	291	2,79	430	64		45			1409	27	12
MF-Zulauf	28.04.2006	7,79	16,1	267	2,52	390	55	3	65		2	1277	23	24
MF-Zulauf	29.04.2006	8,05	24,9	152	2,74	442	51	19	44	2	2	1233	23	32
MF-Zulauf	30.04.2006	8,03	37	131	3,8	455	57	86	44	4	2	1331	27	47
MF-Zulauf	01.05.2006	8,21	44,1	117	4,72	460	52	89	50	4	2	1361	33	20
MF-Zulauf	02.05.2006	8,3	40,4	128	5,03	459	51	81	40	4	0,9	1398	34	30
MF-Zulauf	03.05.2006	8,26	7,1	117	2,62	389	47	0,8	40		0,3	1316	29	40
MF-Zulauf	04.05.2006	8,21	7,46	190	3,04	408	54		49	1,2		1372	27	41
MF-Zulauf	05.05.2006	8,07	15,6	399	4,69	392	45		60			1311	25	22
MF-Zulauf	06.05.2006	7,78	4,86	164	1,61	409	46		39			1318	23	33
MF-Zulauf	07.05.2006	7,98	9,08	168	2,6	422	52	7	51	2	1	1335	24	43
MF-Zulauf	08.05.2006	8,09	17,9	228	4,63	437	50	23	49	3	1	1364	29	42
MF-Zulauf	09.05.2006	8,02	15,2	216	4,27	402	50		73	1		1321	28	13
MF-Zulauf	10.05.2006	8,14	10,9	244	3,94	389	41		61	3	1	1287	29	9
MF-Filtrat	11.01.2006	8,78	6,35	105	3,97	440								
MF-Filtrat	12.01.2006	8,14	4,76	135	3,16	443								
MF-Filtrat	13.01.2006	8,13	5,23	124	2,47	445	71		81	3,2	3,1	1181	18	41
MF-Filtrat	14.01.2006	8,26	15	100	4,54	447	71	16	56	7	16	1183	20	44
MF-Filtrat	15.01.2006	8,3	25,9	88	6,26	454	72	85	60	15	18	1325	29	23
MF-Filtrat	16.01.2006	8,37	28,3	86	7,57	457	71	123	70	17	5	1216	25	46
MF-Filtrat	17.01.2006	8,26	16,5	95	5,9	431	50	37	41	8	1		20	17
MF-Filtrat	18.01.2006	8,2	8,31	96	3,99	432	67	5	60	6	1	1212	25	52
MF-Filtrat	19.01.2006	8,14	8,57	105	3,81	441	66	3	55	4	3	1209	23	55
MF-Filtrat	20.01.2006						83	31	100	12	19	1361	24	43

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Alle Messwerte in ppm

Leitfähigkeit in mS/m

NN = nicht auswertbar

Probe	Datum	pH	Dr. Lange				Ionenanalytik (alle Werte in mg/l)							
			N-Ges.	CSB	PO4-P	Leitf.	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
MF-Filtrat	22.01.2006	8,24	34,1	133	7,69	470	62	106	55	14	3	1191	23	57
MF-Filtrat	23.01.2006	8,21	36,2	120	8,61	469	86	171	81	23	2	1388	28	63
MF-Filtrat	24.01.2006	8,26	28,5	122	6,9	431	80	108	81	18	1	1342	25	40
MF-Filtrat	25.01.2006	8,22	22,2	123	4,58	425	63	36	60	8	1	1280	24	54
MF-Filtrat	26.01.2006	8,04	24,7	131	3,23	441	69	20	68	5	2	1351	20	35
MF-Filtrat	27.01.2006	8,08	28,4	131	4,74	441	76	41	90	10	8	1482	31	37
MF-Filtrat	28.01.2006													
MF-Filtrat	29.01.2006	8,1	39,2	109	7,64	457	80	112	91	18	2	1396	28	52
MF-Filtrat	30.01.2006	8,24	38	162	7,66	461	86	135	105	21	2	1569	36	52
MF-Filtrat	31.01.2006	8,37	25,2	108	6,84	459	76	98	87	16	3	1529	32	40
MF-Filtrat	01.02.2006	8,17	16,5	108	4,4	460	77	57	97	10	1	1551	27	28
MF-Filtrat	02.02.2006	8,18	15,9	114	2,82	464	73	17	73	4	1	1566	30	46
MF-Filtrat	03.02.2006	8,14	13	113	3,46	470	77	20	81	6	7	1558	33	35
MF-Filtrat	04.02.2006	8,03	21,4	120	5,08	467	96	48	106	12	34	1500	34	39
MF-Filtrat	05.02.2006	8,16	29,5	115	6,03	479	105	93	109	16	35	1566	40	46
MF-Filtrat	06.02.2006	8,33	27,5	104	6,23	491	91	115	75	14	2	1545	35	51
MF-Filtrat	07.02.2006	8,58	12,8	94	3,84	467	92	43	92	8	1	1600	33	24
MF-Filtrat	08.02.2006	8,38	3,69	117	2,42	476	75	1	69	3		1576	35	35
MF-Filtrat	09.02.2006	8,26	4,69	141	2,34	484	85		81	3		1650	38	26
MF-Filtrat	10.02.2006	8,22	4,96	132	2,2	530			68	3	2	1648	30	43
MF-Filtrat	11.02.2006	8,07	9,75	125	2,63	558		6	80	3	8	1826	33	38
MF-Filtrat	12.02.2006	8,17	19,3	122	3,83	583		28	63	6	24	1691	31	51
MF-Filtrat	13.02.2006	8,26	22,2	117	5,54	583		49	70	8	18	1878	38	51
MF-Filtrat	14.02.2006	8,25	12,2	109	2,62	521		29	59	3	2	1600	30	48
MF-Filtrat	15.02.2006	8,37	4,37	135	2,38	502		3	75	2		1700	34	24
MF-Filtrat	16.02.2006	8,25	3,97	150	1,28	495			75			1676	26	31
MF-Filtrat	17.02.2006	8,02	6,62	140	1,31	478			106		2	1654	32	34
MF-Filtrat	18.02.2006	8,11	13,9	143	2,44	479		13	71	4	20	1635	32	30
MF-Filtrat	19.02.2006	8,15	27	132	5,4	473	136	33	65	5	23	1545	36	19
MF-Filtrat	20.02.2006	8,33	20,1	120	3,51	471	129	85	68	12	9	1555	35	26
MF-Filtrat	21.02.2006	8,1	15	104	3,17	438	119	46	88	6		1473	30	20
MF-Filtrat	22.02.2006	8,06	8,34	110	2,29	443	95	18	66	4	1	1504	27	39
MF-Filtrat	23.02.2006	7,97	6,17	144	1,96	451	141		117	5		1434	47	32
MF-Filtrat	24.02.2006	8,01	13,8	130	2,33	450	103	12	77	3	9	1543	30	19
MF-Filtrat	25.02.2006	7,97	25,5	130	3,46	462	94	44	67	6	24	1364	30	28
MF-Filtrat	26.02.2006	8,04	26,9	115	3,67	461	89	71	102	7	12	1474	33	17
MF-Filtrat	27.02.2006	8,17	33,4	101	4,42	463	86	108	63	9	1	1381	31	26
MF-Filtrat	28.02.2006	8,2	23,1	97	3,05	424	81	77	71	5	0,4	1423	30	9
MF-Filtrat	01.03.2006	8,23	14	118	2,06	417	70	45	62	3	0,5	1376	31	37
MF-Filtrat	02.03.2006	8,02	10,3	141	1,78	468	80	6	65		2	1510	29	5
MF-Filtrat	03.03.2006	7,86	17,0	153	0,5	468	72	34	62		5	1448	27	9
MF-Filtrat	04.03.2006	7,99	26	135	3,27	463	75	27	65		7	1548	31	18
MF-Filtrat	05.03.2006	8,01	33,4	117	4,72	469	62	53	53	2	5	1622	37	19
MF-Filtrat	06.03.2006	8,26	41,1	113	5,4	470	73	65	67	3	5	1618	35	6
MF-Filtrat	07.03.2006	8,26	20,3	99	3,45	435	83	63	84	7	1	1423	35	
MF-Filtrat	08.03.2006	8,26	2,53	109	1,87	421	56		52	2		1289	29	
MF-Filtrat	09.03.2006	8,1	2,98	123	1,32	457	91		61			1607	28	3
MF-Filtrat	10.03.2006	7,97	4,11	122	1,55	479	128	1	81	2	1	1493	27	
MF-Filtrat	11.03.2006	8,09	14,1	99	3,43	473	114	40	69	6	3			7
MF-Filtrat	12.03.2006	8,14	18,7	84	4,35		107		68	9	1	1613	32	
MF-Filtrat	13.03.2006	8,33	19,4	75	5,02		125	91	103	13	1	1621	30	3
MF-Filtrat	14.03.2006	8,33	5,78	77	2,92	466	97	16	147		1	1445	23	
MF-Filtrat	15.03.2006	8,23	1,45	94	1,61	457	76		59			1523	25	
MF-Filtrat	16.03.2006	8,09	9,81	110	1,32	475	75		48			1212	19	44
MF-Filtrat	17.03.2006	7,96	3,09	109	1,41	485	98		67	2		1405	24	35
MF-Filtrat	18.03.2006	7,88	11,9	104	2,01	485	89	8	61	3	2	1527	30	50
MF-Filtrat	19.03.2006	7,9	17,4	100	2,68	491	96	65	75	82	4	1529	33	52
MF-Filtrat	20.03.2006	8,13	22,9	87	3,24	473	107	103	83	8	1	1531	35	43
MF-Filtrat	21.03.2006	8,3	10,8	82	3,03	453	78	42	67	5	1	1502	33	55
MF-Filtrat	22.03.2006	8,09	2,49	94	1,89	455	80		104	2		1480	29	36
MF-Filtrat	23.03.2006	7,9	2,85	136	1,18	455	87		60			1705	31	55
MF-Filtrat	24.03.2006	8,07	5,47	119	0,98	482	87		63			1586	35	49

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Alle Messwerte in ppm

Leitfähigkeit in mS/m

NN = nicht auswertbar

Probe	Datum	pH	Dr. Lange				Ionenanalytik (alle Werte in mg/l)							
			N-Ges.	CSB	PO4-P	Leitf.	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
UO-Permeat	01.02.2006	7,25	13,1	6	0,124	45	9	22	1		0,5	136	2	1
UO-Permeat	02.02.2006	7,31	4,89	3	0,079	47	11	8	2		0,5	144	3	1
UO-Permeat	03.02.2006	7,22	9,72	8	0,1	54	11	10	1		3	157	3	1
UO-Permeat	04.02.2006	7,05	8,44	9	0,128	55	14	22	1		15	151	4	
UO-Permeat	05.02.2006	7,22	12,2	10	0,141	57	15	47	2		14	204		2
UO-Permeat	06.02.2006	7,36	12,8	6	0,123	60	16	63	2			178	4	2
UO-Permeat	07.02.2006	7,69	4,86	6	0,062	53	10	17	1			153	3	
UO-Permeat	08.02.2006	7,47	0,908	8	0,038	56	12		1			164	4	2
UO-Permeat	09.02.2006	7,1	1,51	11	0,139	42	9		2			129	3	
UO-Permeat	10.02.2006	6,98	1,12	4	0,116	21	15		2			62		
UO-Permeat	11.02.2006	6,89	1,79	9	0,129	21	23	1	2		1	83	2	2
UO-Permeat	12.02.2006													
UO-Permeat	13.02.2006	6,47	2,54	7	0,328	26	25	8	1		1	82	2	
UO-Permeat	14.02.2006	6,93	1,98	6	0,069	21	20	4	1			67	1	1
UO-Permeat	15.02.2006	7,46	0,747		0,5	46	31		3			136	3	
UO-Permeat	16.02.2006	6,98	1,26	5	0,034	21	12		4			70		
UO-Permeat	17.02.2006	6,88	1,37	7	0,012	25	9		2			87	2	
UO-Permeat	18.02.2006	6,85	2,12	12	0,09	22	8	2	1		2	79	2	
UO-Permeat	19.02.2006	6,97	5,26	14	0,11	27	8	4	1		2	91	2	
UO-Permeat	20.02.2006	7,34	2,91	14	0,07	35	10	16	3		2	112	2	
UO-Permeat	21.02.2006	7,22	2,72	6	0,1	41	11	11	4			123	2	
UO-Permeat	22.02.2006	6,81	1,19	4	0,012	18	4	2	1			62	1	
UO-Permeat	23.02.2006	6,66	2,01	3	0,134	20	6		3			66	1	
UO-Permeat	24.02.2006	6,52	1,87	10	0,21	25	2	1	0,5		0,5	34	1	
UO-Permeat	25.02.2006	6,69	3,02	11	0,06	16	4	4	4		2	58	1	
UO-Permeat	26.02.2006	6,97	4,52	12	0,08	32	6	11	2		1,6	98	2	
UO-Permeat	27.02.2006	7,24	7,81	11	0,14	47	9	28	2		0,2	142	3	
UO-Permeat	28.02.2006	6,97	2,27	10	0,05	16	3	6	1			53		
UO-Permeat	01.03.2006	7,54	3,49	10	0,19	69	10	13	3		0,1	193	5	
UO-Permeat	02.03.2006	6,96	1,71	11	0,07	34	6	4	2		0,1	111	2	
UO-Permeat	03.03.2006	6,47	2,29	4	0,01	17	2	4	1		0,4	58	1	
UO-Permeat	04.03.2006	6,49	2,97	10	0,14	12	2	7	1		0,1	48	1	
UO-Permeat	05.03.2006	6,43	2,05	10	0,04	11	2	9				46	1	
UO-Permeat	06.03.2006	6,58	2,84	12	0,105	9	2	9	1			37	1	
UO-Permeat	07.03.2006	6,76	1,6	9	0,381	5	1	2	1			26		
UO-Permeat	08.03.2006	6,69	0,253	5	0,005	4	1					25		
UO-Permeat	09.03.2006	6,53	0,725	4	0,034	7	3		1			45	1	
UO-Permeat	10.03.2006	6,47	0,837	7	0,026	10	4		1			53	1	
UO-Permeat	11.03.2006													
UO-Permeat	12.03.2006	6,63	1,51	6	0,07	6	4	6	1			51	1	
UO-Permeat	13.03.2006	6,77	2,05	5	0,107	7	4		3			48	1	
UO-Permeat	14.03.2006	6,76	1,42	6	0,1	7	3	1	1			40	1	
UO-Permeat	15.03.2006	6,56	1,42	3	0,051	5	3		3			39	1	
UO-Permeat	16.03.2006	6,67	3,43	1	0,179	18	4		2			45	1	
UO-Permeat	17.03.2006													
UO-Permeat	18.03.2006	6,73	1,93	8	0,013	25	5	1	1			88	2	

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Alle Messwerte in ppm

Leitfähigkeit in mS/m

NN = nicht auswertbar

Probe	Datum	pH	Dr. Lange				Ionenanalytik (alle Werte in mg/l)								
			N-Ges.	CSB	PO4-P	Leitf.	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	
UO-Permeat	10.04.2006	6,65	2,13	8	0,1	15	4	3				0,3	57	1	2
UO-Permeat	11.04.2006	6,54	0,24	4	0,1	10	3	1	1						
UO-Permeat	12.04.2006	6,6	0,62	5	0,1	9	3			2			45	1	1
UO-Permeat	13.04.2006	6,5	2,78	3	0,1	13	4			2			66	1	2
UO-Permeat	14.04.2006	6,69	4,67	6	0,1	22	6						65	1	1
UO-Permeat	15.04.2006	6,81	1,92	6	0,1	28	6			2			119	1	
UO-Permeat	16.04.2006	6,86	4,6	6	0,1	26	4	3	1		0,5		93	2	1
UO-Permeat	17.04.2006	6,82	6,72	6	0,1	18	5	9	2		0,2		64	1	
UO-Permeat	18.04.2006	6,87	3,8	6	0,1	16	4	8	1		0,1		48	1	3
UO-Permeat	19.04.2006	6,85	1,1	7	0,1	15	4	3			0,1		59	1	3
UO-Permeat	20.04.2006	6,86	0,882	0	0,16	19	5	0,6	1		0,1		70	1,2	3
UO-Permeat	21.04.2006	6,92	1,23	5	0,17	22									
UO-Permeat	22.04.2006	6,72	2,94	7	0,16	22	3,5	4,6	0,6		0,2		72	1,3	
UO-Permeat	23.04.2006	6,68	2,8	7	0,08	17	2,7	5,9	1,2		0,1		58	0,9	16
UO-Permeat	24.04.2006	6,76	4,08	5	0,1	16	2,6	8,1	1,3		0,1		50	0,8	
UO-Permeat	25.04.2006	6,87	3,33	5	0,15	22	4	7					72		
UO-Permeat	26.04.2006	6,91	1,08	7	0,192	26	4	2	1				92	2	
UO-Permeat	27.04.2006	6,72	0,814	4	0,099	30	5		3				100	2	
UO-Permeat	28.04.2006	6,6	1,99	6	0,069	24	3	1			0,2		60	1	
UO-Permeat	29.04.2006														
UO-Permeat	30.04.2006														
UO-Permeat	01.05.2006														
UO-Permeat	02.05.2006														
UO-Permeat	03.05.2006														
UO-Permeat	04.05.2006	7,04	1,47	8	0,071	35	6						116	2	
UO-Permeat	05.05.2006	7,02	1,21	9	0,064	38	5		1				119	2	
UO-Permeat	06.05.2006	6,93	1,16	15	0,14	44	6		3				129	2	
UO-Permeat	07.05.2006	7,04	1,16	7	0,15	52	7	2	4				152	3	1
UO-Permeat	08.05.2006	7,2	2,85	9	0,248	66	5	3	2				165	4	
UO-Permeat	09.05.2006	7,11	2,18	8	0,212	53	7	4	4				162	3	
UO-Permeat	10.05.2006														

MF-Zulauf	Mittelwerte	8,0	21,3	225	4,7	455,9	104	49	64	6,5	4,7	1444	29	33
MF-Filtrat	Mittelwerte	8,2	15,2	112,7	3,3	460,8	80,4	48,3	65,4	8,1	5,0	1459	29	34
UO-Permeat	Mittelwerte	6,9	3,4	7,3	0,1	30,1	7,5	12,1	2,1	0,0	1,7	93,9	1,9	2,7
UO-Permeat	Mittelwerte	6,8	2,1	7	0,1	22,1	4,3	4,5	1,7	0,0	0,2	74,7	1,5	3,3
1.3.-10.5.	Rückhalt MF	-2	29	50	30	-1	22	2	-3	-23	-8	-1	1	-4
1.3.-10.5.	Rückhalt UO	17	86	94	97	95	95	91	97	100	96	95	95	90

MF-Zulauf	Mittelwert-abweichung	0,14	9,1	63	1,5	24,4	47,2	30,4	13,2	3,8	4,8	108,7	3,7	12,6
MF-Filtrat	Mittelwert-abweichung	0,11	9,0	16	1,4	23,4	17,3	31,0	16,4	5,7	4,9	112,8	4,1	13,5
UO-Permeat	Mittelwert-abweichung gesamt	0,25	2,4	2	0,1	15,0	4,0	10,7	1,1		1,9	40,2	0,8	1,8
UO-Permeat	Mittelwert-abweichung 1.3.-10.5.	0,17	1,02	2	0,05	11,28	1,45	2,75	0,79		0,11	32,56	0,69	2,54

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.10.2 Daten der Stichprobenanalytik

Stichprobenanalysen

Angaben in [mg/l]	sofern nicht anders vermerkt				03.03.06	09.02.06	01.02.06	27.01.06	03.03.06	09.02.06	01.02.06	27.01.06	09.12.05	07.12.05	06.07.05
	03.03.06	10.02.06	01.02.06	27.01.06											
Kationen	Permeat				Filtrat				Zulauf						
Aluminium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	2	1,1	0,9							
Ammonium,		1	2	<1	5	7	4	5							
Barium													<0,01	<0,01	<0,01
Blei	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05							<0,05
Eisen	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,17	<0,5	0,13	0,2					0,18	0,14	0,13
Kupfer	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05					<0,05	<0,05	0,023
Anionen															
Magnesium als ° dH Mg-Härte	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	1,1	0,77	0,93	0,97					0,78	0,83	0,75
Mangan	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01							<0,01
Quecksilber	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05							<0,05
Strontium	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,29	0,22	0,26	0,28					0,27	0,27	0,28
Hydrogenkarbonat aus Säurekapazität pH 4,3 näherungsweise berechnet													3172	3172	3233
Fluorid	<0,1	<0,1	<0,1	<1	<1	<1	<1	<1							<1
Chlorid		2,9	13,4	10	9,2	89	83	75	72				54	50	61
Phosphat		0,5	<0,2	<0,2	<0,2	7,2	6	9,7	13,6				8,5	11,1	8,2
Silikat, gesamt als SiO ₂	<1	<1		1,9	<1	6	10	8,7	4,8				3,1	8,8	10,1
Schwefel, gesamt als SO ₄	<1	<1	<1	<5		78	50	86	77				59	57	81
org. Kohlenstoff															
CSB		<5	<5	6			119	101	124						
TOC															
n. stripbarer C	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		40	41	41	39				45	62	42

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

17.10.3 Daten der TWVO Analyse

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH Postfach 1261 86220 Taunusstein

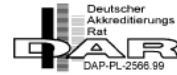
König Brauerei
Friedrich-Ebert-Str. 255
47139 Duisburg

Prüfbericht 231336
Auftrags Nr. 619015
Kunden Nr. 4688500

Herr Herbert Zerbe
Telefon 6128/744-334
Fax 6128/744-9906

Consumer Testing Services
Food & Beverages

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Im Maisel 14
65232 Taunusstein



Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch
die DAP Deutsches Akkreditierungs-
system Prüfwesen GmbH
akkreditiertes Prüflaboratorium
Vor der AKS unter AKS-P-20602-EU
als anerkanntes Prüflaboratorium
akkreditiert

Gegenprobensachverständige nach
§ 42 LMBG

Taunusstein, den 23.05.2006

Ihr Auftrag/Projekt: Untersuchung Trinkwasser
Ihr Bestellzeichen: ohne

Prüfzeitraum von 28.04.2006 bis 22.05.2006
erste laufende Probennummer 6157892
Probeneingang am 27.04.2006

SGS INSTITUT FRESENIUS

Herbert Zerbe

Seite 1 von 6

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH

Im Maisel 14 D-65232 Taunusstein t +49 6128 744 - 0 f +49 6128 744 - 9890 www.institut-fresenius.de
Geschäftsführer: Matthias Oppermann Aufsichtsratsvorsitzender: Dirk Hellemans

HRB: 21543 Amtsgericht Wiesbaden, Außenstelle Bad Schwalbach Ust. - Id. Nr.: DE811165451

Die Prüfergebnisse beziehen sich auf die untersuchten Proben. Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte und Gutachten zu
Werbezwecken sowie deren auszugsweise Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen unserer schriftlichen Genehmigung.
Alle Dienstleistungen werden auf Grundlage der anwendbaren Allgemeinen Geschäftsbedingungen der SGS, die auf Anfrage zur Verfügung gestellt
werden, erbracht.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Untersuchung Trinkwasser
ohne

Prüfbericht Nr. 231336
Auftrag Nr. 619015

Seite 2 von 6
23.05.2006

Probe 6157892		Probenmatrix	Eigenwasser/Rohwasser		
König-Brauerei GmbH Permeat, 25.04.06					
Eingangsdatum	27.04.2006	Eingangsart	von Ihnen übersendet		
Entnahmedatum			Probennehmer KUNDE		
Parameter	Einheit	Ergebnis	Bestimmungs- grenze	Methode	Grenzwert

Kennzeichnung und örtl. Messungen

Elektr. Leitfähigkeit 25° C	µS/cm	282	3	DIN EN 27888	
pH-Wert		6,80		DIN 38404-5	6,5-9,5

Anlage 2, Teil I:

Acrylamid	µg/l	< 0,1	0,1	EPA 8032 A	0,1
Benzol	µg/l	< 0,2	0,2	DIN EN ISO 10301	1
Bor	mg/l	0,19	0,02	DIN EN ISO 11885	1
Bromat	mg/l	< 0,001	0,001	SOP M 783	
Chrom	mg/l	0,006	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,05
Cyanide, ges.	mg/l	< 0,005	0,005	DIN EN ISO 14403	0,05
1,2-Dichlorethan	µg/l	< 0,3	0,3	DIN EN ISO 10301	3
Fluorid	mg/l	< 0,02	0,02	DIN 38405-4	1,5
Nitrat	mg/l	9,7	0,3	DIN EN ISO 10304-1	50
Quecksilber	mg/l	< 0,0001	0,0001	DIN EN 1483	0,001
Selen	mg/l	< 0,001	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,01
Trichlorethen	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 10301	
Tetrachlorethen	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 10301	

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Untersuchung Trinkwasser
ohne

Prüfbericht Nr. 231336
Auftrag Nr. 619015

Seite 3 von 6
23.05.2006

Probe 6157892 König-Brauerei GmbH
Fortsetzung Permeat, 25.04.06

Parameter	Einheit	Ergebnis	Bestimmungs- grenze	Methode	Grenzwert
Pestizide und Pflanzenschutzmittel					
2,4-D	µg/l	< 0,05	0,05	DIN 38407-20	0,1
Aldrin	µg/l	< 0,03	0,03	DIN EN ISO 6468	0,03
Ametryn	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Atrazin	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
Bentazon	µg/l	< 0,05	0,05	DIN 38407-20	0,1
Bromacil	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Bromophos	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Buturon	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Carbetamid	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Carbofuran	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 11369	0,1
Chlorfenvinphos	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Chloridazon	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Chloroxuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Chlortoluron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Clopyralid	µg/l	< 0,1	0,1	DIN 38407-20	0,1
Cyanazin	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Cypermethrin	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 6468	0,1
DDD, o,p'-	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
DDD, p,p'-	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
DDE, o,p'-	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
DDE, p,p'-	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
DDT, o,p'-	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
DDT, p,p'-	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
Desethylatrazin	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
Desethyl- terbuthylazin	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
Desisopropylatrazin	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 10695	0,1
Desmetryn	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Diazinon	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 10695	0,1
Dicamba	µg/l	< 0,05	0,05	DIN 38407-20	0,1
Dichlobenil	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 6468	0,1
Dichlorprop	µg/l	< 0,05	0,05	DIN 38407-20	0,1
Dieldrin	µg/l	< 0,03	0,03	DIN EN ISO 6468	0,03
Dikegulac	µg/l	< 0,05	0,05	DIN 38407-20	0,1
Dimefuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Dimethoat	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Diuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Endosulfan, alpha -	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
Endosulfan, beta -	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
Fenuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Fluometuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
alpha-HCH	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
beta-HCH	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
delta-HCH	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Untersuchung Trinkwasser
ohne

Prüfbericht Nr. 231336
Auftrag Nr. 619015

Seite 4 von 6
23.05.2006

Probe 6157892
Fortsetzung

König-Brauerei GmbH
Permeat, 25.04.06

Parameter	Einheit	Ergebnis	Bestimmungs- grenze	Methode	Grenzwert
gamma-HCH (Lindan)	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
Heptachlor	µg/l	< 0,03	0,03	DIN EN ISO 6468	0,03
Heptachlorepoxyd	µg/l	< 0,03	0,03	DIN EN ISO 6468	0,03
Hexachlorbenzol	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
Hexazinon	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
Isoproturon	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Linuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Malathion	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
MCPA	µg/l	< 0,05	0,05	DIN 38407-20	0,1
Mecoprop	µg/l	< 0,05	0,05	DIN 38407-20	0,1
Metamitron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Metazachlor	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
Methabenzthiazuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Methoprotryn	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Methoxychlor	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 6468	0,1
Metobromuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Metolachlor	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 10695	0,1
Metoxuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Metribuzin	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Monolinuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Monuron	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Nitrofen	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
Parathion	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
Parathionmethyl	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
PCB 28	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
PCB 52	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
PCB 101	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
PCB 138	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
PCB 153	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
PCB 180	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
PCB 194	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
Pendimethalin	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Phenmedipham	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 11369	0,1
Prometryn	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Propazin	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
Sebuthylazin	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Simazin	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
Terbuthylazin	µg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 10695	0,1
Terbutryn	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Trifluralin	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 6468	0,1
Vinclozolin	µg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10695	0,1
Pestizide gesamt	µg/l	-	-	DIN 38407-2	0,5

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Untersuchung Trinkwasser
ohne

Prüfbericht Nr. 231336
Auftrag Nr. 619015

Seite 5 von 6
23.05.2006

Probe 6157892
Fortsetzung

König-Brauerei GmbH
Permeat, 25.04.06

Parameter	Einheit	Ergebnis	Bestimmungs- grenze	Methode	Grenzwert
Anlage 2, Teil II					
Antimon	mg/l	< 0,001	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,005
Arsen	mg/l	< 0,001	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,01
Benzo(a)pyren	µg/l	< 0,002	0,002	DIN 38407-18	0,01
Blei	mg/l	< 0,0005	0,0005	DIN EN ISO 17294-2	0,025
Cadmium	mg/l	< 0,0002	0,0002	DIN EN ISO 17294-2	0,005
Epichlorhydrin	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN 14207	0,1
Kupfer	mg/l	< 0,001	0,001	DIN EN ISO 17294-2	2
Nickel	mg/l	< 0,001	0,001	DIN EN ISO 17294-2	0,02
Nitrit	mg/l	0,08	0,02	DIN EN ISO 10304-1	
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	< 0,002	0,002	DIN 38407-18	
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	< 0,002	0,002	DIN 38407-18	
Benzo(g,h,i)perylen	µg/l	< 0,002	0,002	DIN 38407-18	
Indeno(1,2,3-c,d) pyren	µg/l	< 0,002	0,002	DIN 38407-18	
Summe PAK nach TVO	µg/l	-		DIN 38407-18	0,1
Trichlormethan	µg/l	< 0,5	0,5	DIN EN ISO 10301	
Bromdichlormethan	µg/l	< 0,5	0,5	DIN EN ISO 10301	
Dibromchlormethan	µg/l	< 0,5	0,5	DIN EN ISO 10301	
Tribrommethan	µg/l	< 0,5	0,5	DIN EN ISO 10301	
Summe der Trihalogenmethane	µg/l	-			50
Vinylchlorid	µg/l	< 0,3	0,3	DIN EN ISO 10301	0,5

Anlage 3, Indikatorparameter

Aluminium	mg/l	0,007	0,005	DIN EN ISO 17294-2	0,2
Ammonium	mg/l	< 0,02	0,02	DIN EN ISO 11732	0,5
Chlorid	mg/l	5,8	1	DIN EN ISO 10304-1	250
Eisen, ges.	mg/l	< 0,005	0,005	DIN EN ISO 11885	0,2
spektr. Absorptk. 436 nm	1/m	0,05	0,05	DIN EN ISO 7887	0,5
Mangan	mg/l	< 0,005	0,005	DIN EN ISO 11885	0,05
Natrium	mg/l	67,5	0,1	DIN EN ISO 11885	200
TOC	mg/l	0,4	0,2	DIN EN 1484	
Sulfat	mg/l	< 1,0	1	DIN EN ISO 10304-1	240
Trübung	NTU	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 7027	1

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Untersuchung Trinkwasser
ohne

Prüfbericht Nr. 231336
Auftrag Nr. 619015

Seite 6 von 6
23.05.2006

Probe 6157892
Fortsetzung

König-Brauerei GmbH
Permeat, 25.04.06

Parameter	Einheit	Ergebnis	Bestimmungs- grenze	Methode	Grenzwert
zusätzliche Parameter					
Kalium	mg/l	1,0	0,1	DIN EN ISO 11885	
Magnesium	mg/l	< 0,5	0,5	DIN EN ISO 11885	
Calcium	mg/l	< 0,5	0,5	DIN EN ISO 11885	
Barium	mg/l	0,011	0,005	DIN EN ISO 11885	
Phosphat	mg/l	< 0,04	0,04	DIN EN 1189	6,7
Hydrogencarbonat	mg/l	164	3	DEV D8	
Kieselsäure (SiO ₂)	mg/l	0,64	0,2	DIN EN ISO 11885	
Carbonathärte	mmol/l	1,34			
Gesamthärte	°dH	< 0,03	0,03		
Härtebereich		1			
Zink	mg/l	< 0,005	0,005	DIN EN ISO 11885	

Beurteilung Pestizide

Die untersuchten Parameter der Wasserprobe entsprechen den gestellten Anforderungen.

Beurteilung Chemie allgemein

Die Probe entspricht, soweit untersucht, den gestellten Anforderungen.

Geogen bedingte Überschreitungen bleiben für Ammonium bis zu 30 mg/l und für Sulfat bis 500 mg/l ausser Betracht.

Bei Produktionswässern werden die Werte für Ammonium, Calcitlösevermögen, pH-Wert und Sulfat nicht in Betracht gezogen.

Beurteilung nach TrinkwV 05.2001

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH Postfach 1261 65220 Taunusstein

König Brauerei
Friedrich-Ebert-Str. 255
47139 Duisburg

Prüfbericht 226298
Auftrags Nr. 619015
Kunden Nr. 4688500

Herr Herbert Zerbe
Telefon 6128/744-334
Fax 6128/744-9906

Consumer Testing Services
Food & Beverages

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Im Maisel 14
65232 Taunusstein



Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch
die DAP Deutsches Akkreditierungs-
system Prüfwesen GmbH
akkreditiertes Prüflaboratorium
Vor der AKS unter AKS-P-20602-EU
als anerkanntes Prüflaboratorium
akkreditiert

Gegenprobensachverständige nach
§ 42 LMBG

Taunusstein, den 04.05.2006

Ihr Auftrag/Projekt: Untersuchung Trinkwasser
Ihr Bestellzeichen: ohne

Prüfzeitraum von 28.04.2006 bis 04.05.2006
erste laufende Probennummer 6157892
Probeneingang am 27.04.2006

SGS INSTITUT FRESENIUS

Herbert Zerbe

Seite 1 von 2

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH

Im Maisel 14 D-65232 Taunusstein t +49 6128 744 - 0 f +49 6128 744 - 9890 www.institut-fresenius.de
Geschäftsführer: Matthias Oppermann Aufsichtsratsvorsitzender: Dirk Hellemans

HRB: 21543 Amtsgericht Wiesbaden, Außenstelle Bad Schwalbach Ust.-Id.-Nr.: DE911165461

Die Prüfergebnisse beziehen sich auf die untersuchten Proben. Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte und Gutachten zu
Werbezwecken sowie deren auszugsweise Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen unserer schriftlichen Genehmigung.
Alle Dienstleistungen werden auf Grundlage der anwendbaren Allgemeinen Geschäftsbedingungen der SGS, die auf Anfrage zur Verfügung gestellt
werden, erbracht.

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

Untersuchung Trinkwasser
ohne

Prüfbericht Nr. 226298
Auftrag Nr. 619015

Seite 2 von 2
04.05.2006

Probe 6157892		Probenmatrix	Eigenwasser/Rohwasser	
König-Brauerei GmbH Permeat, 25.04.06				
Eingangsdatum	27.04.2006	Eingangsart	von Ihnen übersendet	
Entnahmedatum			Probenehmer KUNDE	
Parameter	Einheit	Ergebnis	Methode	Grenzwert
Koloniezahlen				
DEV Agar bei 20+/-2°C nach 44+/-4h	KBE / ml	> 1000	TrinkwV a.F. Anl. 1	100
DEV Agar bei 36+/-1°C nach 44+/-4h	KBE / ml	> 1000	TrinkwV a.F. Anl. 1	100
Spezielle Keimarten				
Escherichia coli	KBE/100ml	0	Colilert 18/Quanti-Tray	0
Coliforme Bakterien	KBE/100ml	0	Colilert 18/Quanti-Tray	0
Enterokokken	KBE/100ml	0	ISO 7899-2	0
Pseudomonas aeruginosa	KBE/100ml	0	DIN EN 12780	0
Clostridium perfringens	KBE/100ml	0	Bestätig. mittels API m-CP-Agar	0

Beurteilung

Folgende Prüfparameter entsprechen nicht den gestellten Anforderungen:

KBE 36+/-1°C nach 44+/-4 h, DEV-Nähragar

KBE 20+/-2°C nach 44+/-4 h, DEV-Nähragar

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit

18. Lebenslauf des Verfassers



Robert Englisch
geboren 09. März 1960
in Duisburg

Seit 01. Jan. 2001	Leiter Technische Dienste der König-Brauerei in Duisburg-Beeck
Seit 24. Sep. 1999	Prokurist der König-Brauerei in Duisburg-Beeck
01. Febr. 1995 – 31. Dez. 2000	Leiter Maschinen und Elektroanlagen bei der König-Brauerei in Duisburg-Beeck
01. Juli 1994 - 31. Jan. 1995	Leiter Maschinen und Anlagen bei der König-Brauerei in Duisburg-Beeck
01. Mai 1992 - 30. Juni 1994	Technischer Planer bei der König-Brauerei in Duisburg-Beeck für den Bereich Verfahrenstechnik-Produktion
01. Sept. 1991 - 30. April 1992	Betriebskontrolleur bei der König-Brauerei
15. Okt. 1986 - 09. Juli 1991	Studium des Brauwesens und der Getränketechnologie an der TU München in Weihenstephan und studienbegleitende Tätigkeiten
01. Aug. 1985 - 14. Okt. 1986	Zivildienst im Pflegedienst am St. Johannes-Hospital in Duisburg
01. Aug. 1984 – 31. Juli 1985	Studium der katholischen Theologie in Innsbruck
01. Mai 1982 - 31. Juli 1984	Studium der katholischen Theologie in Würzburg
24. Feb. 1981 - 31. März 1982	Noviziat im Praemonstratenserstift Schlägl, Oberösterreich
01. Sept. 1978 - 06. Jan. 1981	Ausbildung zum Brauer und Mälzer in der König-Brauerei und der Ireks-Malzfabrik, Kulmbach
06. Juni 1978	Erlangung der allgemeinen Hochschulreife am Leibniz-Gymnasium in Duisburg-Hamborn

Aufbereitung von Brauereiabwasser bis zur Wiederverwendbarkeit