

Härtestabilisator und Membrantgasung in der Pharmawasseraufbereitung

Mögliche Alternative zu Enthärtung und Natronlauge-Dosierung

Sarah Wilken

hameln pharmaceuticals gmbh, Hameln

Zur Herstellung von Pharmawasser aus dem jeweiligen Stadtwasser ist i. d. R. eine intensive Wasseraufbereitung notwendig, wozu verschiedene Verfahren zur Verfügung stehen. Dabei sollte gerade bei sehr hartem Stadtwasser (> 21° dH) das Thema „Enthärtung“ intensiv betrachtet werden, um die Pharmawasseraufbereitungsanlage vor unerwünschten Härteablagerungen zu schützen und so Spätschäden vorzubeugen.

Im Rahmen des folgenden Beitrages wird das Verfahren der Härtestabilisierung mit Polyphosphonsäuren als Alternative zur bisher häufig eingesetzten Enthärtung mittels Ionenaustauschern vorgestellt und bewertet. Des Weiteren wird die Membrantgasung zur Reduzierung des Kohlendioxidgehaltes des Wassers mit dem Verfahren der Zugabe von Natronlauge verglichen und deren Vor- und Nachteile betrachtet.

Einleitung

Das Problem ist in der Pharmawasseraufbereitung bekannt: Ist das Stadtwasser sehr hart (> 21° dH), ist eine Reduzierung der Härte unumgänglich, bevor das Wasser auf die Umkehrosmose geleitet werden kann. Andernfalls kommt es in kürzester Zeit zu Ausfällungen auf den Membranen.

Um die Frage zu klären, ob es eine Möglichkeit gibt, auch bei sehr hartem Stadtwasser auf eine – auf Dauer teure – Enthärtungsanlage mittels Ionenaustauschern zu verzichten, hat Hameln pharmaceuticals zwei Wasseraufbereitungsanlagen der Fa. Letzner Pharmawasseraufbereitung untersucht. Die eine Anlage arbeitet mit Ionenaustauschern zur Reduzierung der Härte und einer Natronlauge-Dosierstation zur Entfernung des Kohlendioxids aus dem Wasser (Abb. 2). Die andere verwendet alternativ einen Härtestabilisator und das Verfahren der Membrantgasung (Abb. 1).

Die Untersuchungen konzentrierten sich darauf, die Wirksamkeit des Härtestabilisators Letzcon Plus^{*)} zu untersuchen und die Dosierung zu ermitteln, in der er für

^{*)} Letzner Pharmawasseraufbereitung, Robert-Koch-Str. 1, 42499 Hückeswagen (Germany), Fax 02192-83 887, e-mail: info@letzner.de

sehr hartes Stadtwasser (22 bis 23° dH) gute Ergebnisse liefert. Außerdem wurden die Vor- und Nachteile gegenüber der Enthärtung herausgearbeitet.

Das untersuchte Stadtwasser hat darüber hinaus einen relativ hohen Gehalt an Kohlendioxid (~ 27 mg/l), der gesenkt werden muß, um die Anforderungen der Arzneibücher an Pharmawasser zu erfüllen. Dies geschah bei Hameln pharmaceuticals bisher durch die Zugabe von Natronlauge. Auch in diesem Fall wollte man wissen, ob das Verfahren der Membrantgasung eine sinnvolle Alternative darstellen könnte. Dazu wurden die optimalen Betriebsbedingungen ermittelt und die Vor- und Nachteile mit denen der Zugabe von Natronlauge verglichen.

Aufbau der Wasseraufbereitungsanlage mit Härtestabilisator und Membrantgasung

Pharmawasseraufbereitung (Abb. 1) beginnt mit dem Stadtwasser. Dieses wird als erstes filtriert (Vorfilter mit 30 µm, Feinfilter mit 10 µm), dann wird der Härtestabilisator hinzugegeben und das Wasser gelangt auf die Umkehrosmose. Dort wird das Wasser mit Druck durch eine Membran gepumpt. Das Per-

meat dieser Umkehrosrose gelangt anschließend durch die Membranentgasung zur Elektrodeionisation, die das fertig aufbereitete Wasser mit der Arzneibuch-Qualität von Aqua purificata liefert. Das Konzentrat der Umkehrosrose, das die Bestandteile des Stadtwassers in konzentrierter Form enthält, könnte nun verworfen werden, was jedoch große Mengen an Abwasser zur Folge hätte. Das wiederum verursacht eine geringe Ausbeute und hohe Abwasserkosten. Daher wird das Konzentrat der Konzentrataufbereitung zugeführt. Dies ist eine weitere Umkehrosrose, durch die eine stärkere Konzentrierung stattfindet. Das Konzentrat dieser Konzentrataufbereitung ist endgültig Abwasser, aber das Permeat, das eine relativ gute Qualität hat, wird dem Stadtwasser wieder zugesetzt und gelangt so erneut auf die erste Umkehrosrosestufe.

Wenn sich die Wasseranlage in Bereitschaft befindet, wird die Umkehrosrose mit Kohlendioxid überlagert. Dies verursacht einen Abfall des pH-Wertes, wodurch Härteablagerungen auf den Membranen wieder aufgelöst werden können. Außerdem schafft der niedrige pH-Wert ungünstige Bedingungen für Mikroorganismen [1].

Das Prinzip dieser Drucküberlagerung mit Kohlendioxid und das der Konzentrataufbereitung hat die Fa. Letzner zum Patent angemeldet.

Aufbau der Wasseraufbereitungsanlage mit Enthärtung und Natronlauge-Dosierung

Diese Wasseraufbereitungsanlage arbeitet anstelle des Härtestabilisators mit der Enthärtung mittels Ionenaustauschern (Abb. 2). Es handelt sich dabei um reine Kationenaustauscher, die in erster Linie dazu dienen, die Calcium- und Magnesiumionen aus dem Wasser gegen Natriumionen auszutauschen, um so die Härte des Wassers zu reduzieren (auf $\sim 0,1^\circ$ dH).

Diesem enthärteten Wasser wird anschließend 30%ige Natronlauge zugesetzt, wodurch der pH-Wert auf $\geq 8,5$ angehoben wird. Bei diesem pH-Wert verschiebt sich

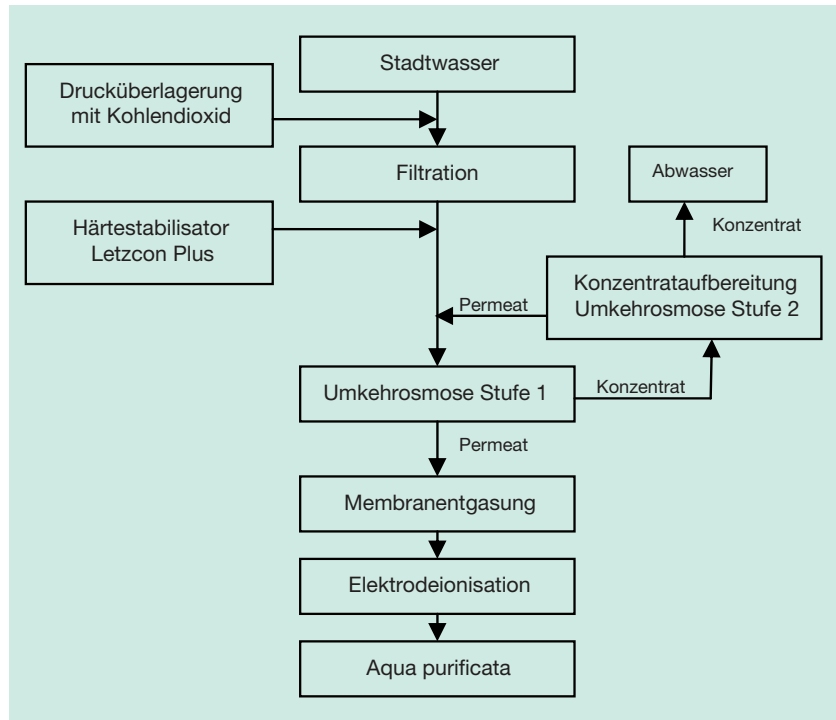


Abb. 1: Wasseraufbereitungsanlage mit Härtestabilisator und Membranentgasung.

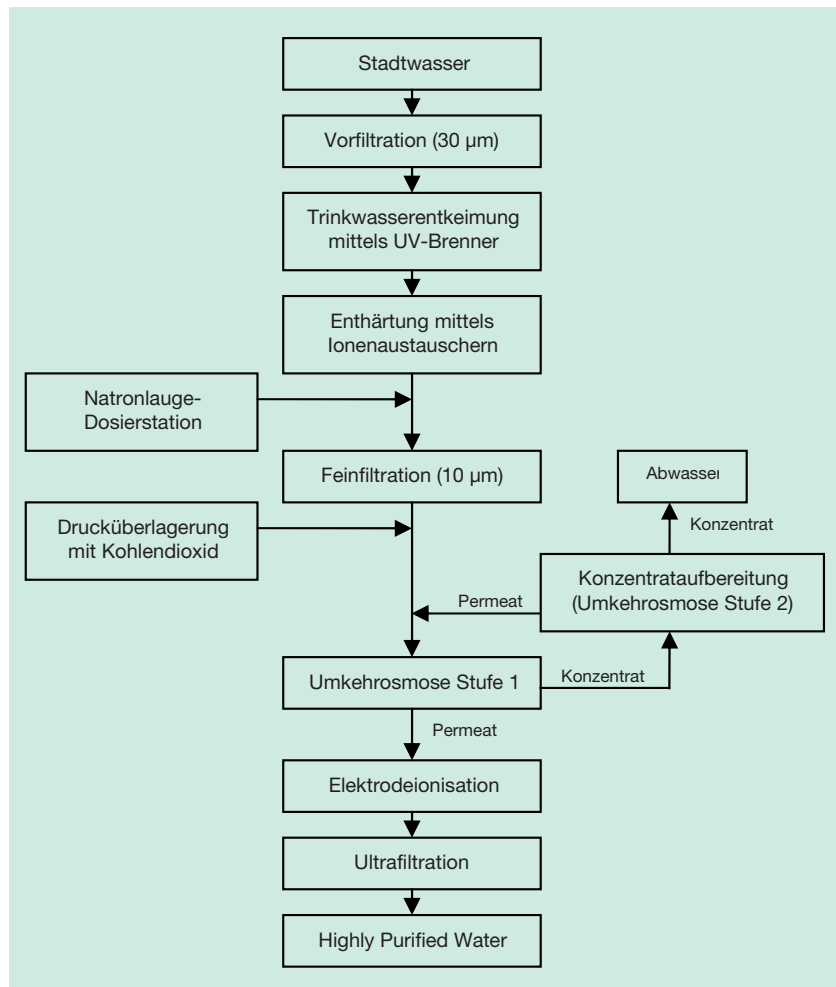
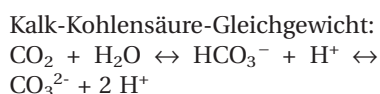


Abb. 2: Wasseraufbereitungsanlage mit Enthärtung und Natronlauge-Dosierung.

das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht (s. u.) nach rechts und das gelöste Kohlendioxid geht in Carbonat über. Dieses kann die Membranen der Umkehrosmose nicht passieren und wird mit dem Konzentratstrom abgeführt [2, 3].



Nach der Elektrodeionisation ist eine weitere Aufbereitungsstufe integriert, die Ultrafiltration. So kann diese Wasseraufbereitungsanlage Wasser mit der Arzneibuchqualität von Highly Purified Water (HPW) liefern.

Härtestabilisator Letzcon Plus

Letzcon Plus ist eine Polyphosphonsäure, die zum Schutz der Umkehrosmose vor Scaling eingesetzt wird. Als Scaling bezeichnet man Ablagerungen auf den Membranen der Umkehrosmose, verursacht durch Carbonat- und Sulfatverbindungen mit Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} und Ba^{2+} [4]. Letzcon Plus stabilisiert diese Ionen. Es entstehen makromolekulare Komplexe, die auf den Membranen nicht mehr ausfallen und aufgrund ihrer Größe auch nicht durch die Membranen hindurchgelangen können und somit vollständig mit dem Konzentratstrom entfernt werden [5, 6].

Es stellt sich die Frage, ob der Härtestabilisator auch in der Lage ist, sehr hartes Wasser ($> 22^\circ \text{dH}$) zu stabilisieren, und wenn ja, in welcher Dosierung. Um dies zu klären, ist die Gesamthärte nachfolgender Proben titrimetrisch ermittelt worden:

- **Stadtwasser**
Dieses Wasser wird nach Zusatz von Letzcon Plus auf die Membranen der Umkehrosmose geleitet.
- **Konzentrat der Umkehrosmose**
Hier müßte sich die gesamte Härte des Stadtwassers in konzentrierter Form wieder finden, wenn der Härtestabilisator ordnungsgemäß funktioniert. Bei z. B. 75%iger Ausbeute der Umkehrosmose entstehen 25 % Konzentrat, es ist zu einer 4fachen Konzentrierung gekommen, die Härte im Konzentrat der Um-

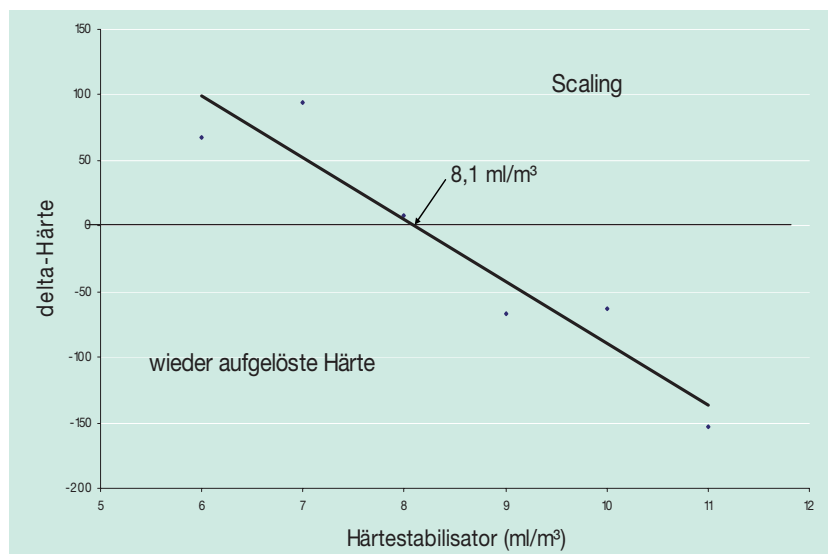


Abb. 3: Letzcon Plus: Ausgefällte und wieder aufgelöste Härte in Abhängigkeit von der Dosierung des Härtestabilisators (Delta Härte ist die Differenz der Härte, die theoretisch im Konzentrat sein sollte und der Härte, die tatsächlich ermittelt werden konnte).

kehrosmose müßte demnach viermal so hoch sein wie im Stadtwasser.

- **Permeat der Umkehrosmose**

In dieser Probe befinden sich die Härte-Ionen, die die Membranen der Umkehrosmose passiert haben (Härteschlupf).

Die Ergebnisse der Härtetitrations sind in Abb. 3 dargestellt. Die vom Hersteller angegebene Dosierung von 5 ml/m^3 ist zu niedrig, erst ab $8,1 \text{ ml/m}^3$ zeigt sich eine gute Härtestabilisierung für Stadtwasser mit einer Härte von 22 bis 23°dH . Bei einer niedrigeren Dosierung wurde im Konzentrat nach der Umkehrosmose weniger Härte wieder gefunden als dort theoretisch hätte vorhanden sein sollen. Es muß folglich zu Scaling und Härteschlupf gekommen sein. Der Härteschlupf ist jedoch vernachlässigbar gering.

Ab einer Dosis von $8,1 \text{ ml/m}^3$ wird sogar mehr Härte wiedergefunden als theoretisch im Konzentrat sein müßte; der überschüssige Härtestabilisator hat also auf den Membranen schon vorhandene Härteablagerungen wieder aufgelöst und mit dem Konzentratstrom entfernt.

Gegenüberstellung von Enthärtung und Härtestabilisator

Eine vergleichende Gegenüberstellung von Enthärtung und Härtesta-

bilisator zeigt Tab. 1. Ein Ersatz der Enthärtungsanlage durch den Härtestabilisator ist auch bei sehr hartem Stadtwasser generell möglich. Es ist jedoch zu beachten, daß die Membranen der Umkehrosmose durchaus stärker belastet werden, als wenn eine Enthärtung vorgeschaltet ist. Durch die Enthärtung wird die Umkehrosmose nur noch mit einer minimalen Konzentration an Härtebildnern ($\sim 0,1^\circ \text{dH}$) belastet. Dies ist ideal um eine möglichst lange Lebensdauer der Membranen zu gewährleisten. Aufgrund der geringen Härte, die auf die Umkehrosmose trifft, kommt es auch zu keinem Härteschlupf. Dies ist wiederum die beste Voraussetzung für die nachgeschaltete Elektrodeionisation.

Beim Einsatz eines Härtestabilisators anstelle einer Enthärtung sollte immer eine genaue Beobachtung der Permeat-Menge der Konzentrataufbereitung stattfinden. Auswirkungen einer mangelhaften Wirkung des Härtestabilisators machen sich hier als erstes bemerkbar. Die Konzentrataufbereitung wird nämlich am stärksten beansprucht, da es sich bei dem Zulaufwasser – wie der Name schon sagt – um Konzentrat (von der ersten Stufe der Umkehrosmose) handelt, das dann noch stärker eingedickt wird. Bei einer Dosierung des Härtestabilisators von 9 ml/m^3 bleibt die Durch-

Tab. 1: Vor- und Nachteile von Enthärtung und Härtestabilisator.

| Parameter | Enthärtung mittels Ionenaustausch | Härtestabilisator | Vorteilhafte Methode |
|---|---|---|---|
| Wasserhärte Zusatz von Chemikalien | Gesamthärte wird auf ~ 0,1° dH Erhöhung der Natriumkonzentration, also kein Zusatz von Fremdstoffen | Stabilisierung der Härtebildner Letzcon Plus (Polyphosphonsäure), Nachweis auf Abwesenheit aus dem Reinstwasser notwendig | – Enthärtung |
| Toxizität der zugesetzten Chemikalien | Nicht toxisch | Nicht toxisch [2] | – |
| Zulassung der Chemikalien für die Trinkwasserbehandlung | Zugelassen, Natriumionen sind physiologischer Bestandteil des Wassers | Zulassung beantragt, in einigen Ländern (z. B. Niederlande) sind Polyphosphonsäuren schon zugelassen [7] | Zur Zeit: Enthärtung, nach Zulassung der Polyphosphonsäuren keine Methode mehr vorteilhafter als die andere |
| Regenerierung | Kochsalzbedarf ca. 180 bis 240 g je Liter Harz/Regeneration [4] | Keine Regenerierung erforderlich | Härtestabilisator |
| Filterwirkung | Harzbett hat Filterwirkung [4] | Nicht vorhanden | Enthärtung |
| Harzwechsel | Etwa alle drei Jahre [4] | – | Härtestabilisator |
| Leitfähigkeit | Erhöhung um 10 bis 20 % durch eine Erhöhung des Gesamtsalzgehaltes <i>im</i> aufbereiteten Wasser um bis zu 6 % [2] | Keine Beeinflussung | Härtestabilisator |
| Abwasser | Abwasser fällt bei der Regeneration der Ionenaustauscher an | Kein Abwasser | Härtestabilisator |
| Schutz der Reversosmose | Belastung mit einer minimalen Konzentration an Härtebildnern | Belastung der ersten Aufbereitungsstufe mit Stadtwasser, dessen Härte durch Letzcon Plus stabilisiert ist und das mit dem enthärteten Permeat der Konzentrataufbereitung verdünnt wurde. Belastung der Konzentrataufbereitung mit einem vielfachen der Härtebildner des Stadtwassers. | Enthärtung |
| Härteschlupf durch die Membranen der Reversosmose | Nicht nachweisbar | Erhöhung des Härteschlupfes; der prozentuale Anteil bleibt gleich, aber da die gesamte Stadtwasserhärte auf die Membranen der Umkehrosmose trifft, ist der absolute Wert größer als wenn enthärtetes Wasser als Feed dient. | Enthärtung |
| Mikrobiologie | Große Oberfläche der Austauscherharze verursacht starkes Keimwachstum, Einschleppen von Verunreinigungen mit den Kochsalztabletten (häufiges Nachfüllen in den Vorlagebehälter notwendig, ebenfalls große Oberfläche) [2] | Vorratsbehälter steril verschlossen und keimarm an die Dosierpumpe anschließbar, keine oder nur geringe Förderung von biologischem Wachstum durch Polyphosphonsäuren (im Gegensatz zu den anorganischen Phosphaten, die dem Trinkwasser zudosiert werden dürfen) [7] | Härtestabilisator |
| Partikuläre Verunreinigungen | Durch Harzabrieb [8] | Nicht vorhanden | Härtestabilisator |
| Platzbedarf | Enthärtung: 2 bis 3 m ² , Vorlagebehälter für die Kochsalztabletten: 1 bis 2 m ² , Lagerraum für die Kochsalztabletten | Dosierstation ist in die Anlage integriert, Vorratsbehälter hat eine Standfläche von 0,05 bis 0,1 m ² | Härtestabilisator |
| Personalbedarf | Häufiges Auffüllen des Vorlagebehälters mit Kochsalztabletten | Vorratsbehälter (25 kg) reicht je nach Anlagengröße i. d. R. mehrere Wochen | Härtestabilisator |
| Kosten | Kosten um ein achtfaches höher als der Jahresbedarf an Letzcon Plus | Etwa 1/8 der Kosten, die zum Betrieb der Enthärtung notwendig sind | Härtestabilisator |
| Erweiterung der Anlage | Kompletter Austausch der Enthärtungsanlage gegen eine größere notwendig | Erhöhung der Zugabe des Härtestabilisators durch Knopfdruck an der Dosierstation | Härtestabilisator |

flußmenge des Permeats maximal. Ein Verblocken der Membranen der Umkehrosmose ist auch an einem zunehmenden Druckabfall erkennbar; dieser sollte somit ebenfalls kontrolliert werden.

Membranentgasung

Bei der Membranentgasung handelt es sich um ein Membrandiffusionsverfahren, das der Entfernung des gelösten Kohlendioxides aus dem Wasser dient. Da Kohlendioxid im Wasser einen beträchtlichen Einfluß auf die Leitfähigkeit hat, muß es (in Abhängigkeit vom jeweiligen Stadtwasser) entfernt werden, um die Anforderungen an Aqua purificata und HPW zu erfüllen. Außerdem liegt der Grenzwert für die Kohlendioxidbelastung der Elektrodeionisation bei 5 mg/l.

Zur Entfernung des Kohlendioxids wird das Permeat der Umkehrosmose an einer für Kohlendioxid permeablen Membran vorbeigeleitet. Auf der einen Seite der Membran fließt das Permeat entlang, auf der anderen Seite strömt Druckluft in entgegengesetzter Richtung vorbei (Abb. 4). Aufgrund des Partialdruckgefälles diffundiert das Kohlendioxid durch die semipermeable Membran und wird auf der Gasseite mit der Druckluft im Gegenstrom ausgespült. Wasser kann die Membran nicht passieren. [9]

Die titrimetrische Bestimmung des Kohlendioxidgehaltes im Wasser nach der Membranentgasung ergab die in Abb. 5 dargestellten Ergebnisse, aus denen sich folgendes Bild über die Wirksamkeit der Membranentgasung ableiten läßt.

Wasser, das in das Membranentgasungsmodul hineingelangt (Permeat der Umkehrosmose) enthält etwa 25 mg CO₂/l. Diese 25 mg CO₂/l werden dann durch die Membranentgasung auf < 3 mg CO₂/l reduziert. Abb. 5 zeigt, daß die Kohlendioxidentfernung bei geringer Durchflußmenge noch nicht so effektiv ist. Sobald die Durchflußmenge der Druckluft etwas ansteigt, zeigt sich jedoch eine gute Reduzierung des Kohlendioxidgehaltes, und zwar unabhängig vom Luftdruck. Eine Erhöhung des Druck-

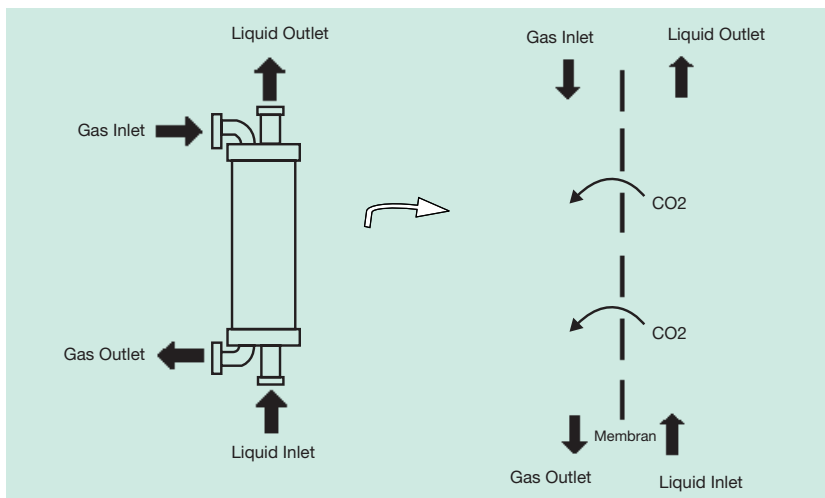


Abb. 4: Membranentgasungsmodul [10].

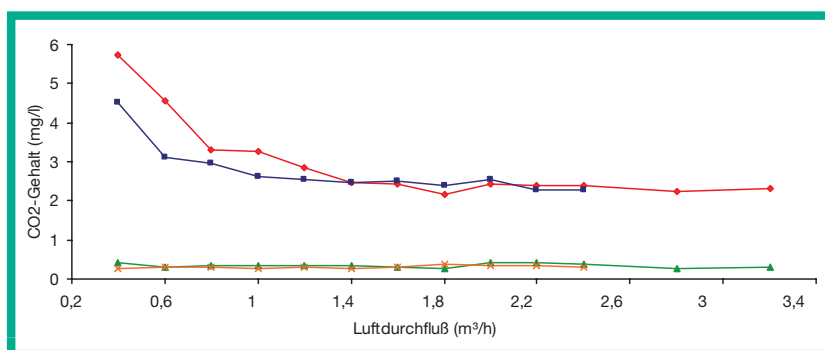


Abb. 5: Kohlendioxidgehalt bei Entgasung mit Druckluft. ◆ = nach Membranentgasung 1 bar, ▲ = nach EDI 1 bar, ■ = nach Membranentgasung 0,5 bar, ✕ = nach EDI 0,5 bar.

kes bringt also keine Verbesserung der Leistung, genauso wenig wie eine weitere Steigerung der Durchflußmenge bis hin zum maximalen Durchfluß bei voll geöffnetem Ventil. Die Messung der Leitfähigkeit und des pH-Wertes spiegeln diese Ergebnisse ebenfalls wieder.

Zur Beurteilung, ob die Reduktion des Kohlendioxidgehaltes auf knapp unter 3 mg/l ausreichend ist, muß auch der CO₂-Gehalt nach der Elektrodeionisation betrachtet werden. Abb. 5 zeigt, daß dieser konstant niedrig ist, auch bei geringem Luftdurchfluß, wenn die Membranentgasung noch nicht so gute Werte liefert. Die Elektrodeionisation ist folglich jederzeit in der Lage, den restlichen Kohlendioxidgehalt auf ein weiteres Minimum zu reduzieren, so daß die Anforderungen der Arzneibücher an die Leitfähigkeit erfüllt werden können.

Gegenüberstellung von Natronlauge-Dosierung und Membranentgasung

Die Membranentgasung ist empfehlenswerter als die Zugabe von Natronlauge, da sie mehr Vorteile gegenüber nicht sehr schwerwiegenden Nachteilen zeigt (Tab. 2).

Fazit

Die Membranentgasung liefert gute Ergebnisse und kann die Natronlauge-Dosierung durchaus ersetzen, wenn keine vollständige Kohlendioxidentfernung aus dem Wasser gefordert wird. Die Anforderungen an den Kohlendioxidgehalt für das Zulaufwasser der Elektrodeionisation werden von der Membranentgasung in einem breiten Bereich möglicher Betriebsbedingungen (Luftdruck und -durchfluß) erfüllt, so daß Pharmawasser mit

Tab. 2: Vor- und Nachteile von Natronlauge-Dosierung und Membranentgasung.

| Parameter | Natronlauge-Dosierung | Membranentgasung | Vorteilhafte Methode |
|--------------------------------|---|--|----------------------|
| Restgehalt Kohlendioxid | Nicht nachweisbar | < 3 mg CO ₂ /l | Natronlauge |
| Umgang mit Chemikalien / Gasen | Natronlauge (30 %), häufiger Umgang mit der Natronlauge notwendig (Nachfüllen des Vorlagebehälters) | Druckluft oder Stickstoff, die mit Kohlendioxid angereicherte Luft (bzw. Stickstoff) wird direkt in die Umgebung abgegeben (einmalige Installation eines Meßgerätes zur Bestimmung des Restsauerstoffgehaltes in der Luft) | Membranentgasung |
| pH-Wert | Anhebung auf pH ≥ 8,5 | pH-Wert erfüllt die Anforderungen der Arzneibücher (pH 5 bis 7) | Membranentgasung |
| Scaling | pH-Anhebung begünstigt das Scaling von Eisen- und Manganoxiden auf den Membranen der Reversosmose [7] | Auf den Membranen des Moduls möglich, daher Einbau hinter der Umkehrosmose | Membranentgasung |
| Empfindlichkeit | Kleine Dosischwankungen können große pH-Wert-Veränderungen zur Folge haben [9] | Luftdruck und -durchfluß in einem relativ großen Bereich variierbar, ohne daß Verschlechterung der Leistung eintritt | Membranentgasung |
| Mikrobiologie | Keine Beeinflussung | Leichter Anstieg der Gesamtkeimzahl nach Selektion druckunempfindlicher Keime | Natronlauge |
| Platzbedarf | Vorlagebehälter hat eine Standfläche von 1 bis 1,5 m ² | Modul in die Anlage integriert | Membranentgasung |
| Personalbedarf | Regelmäßiges Nachfüllen des Vorlagebehälters | – | Membranentgasung |
| Betriebszeit | Dosierung während der Produktion | Kontinuierlicher Betrieb | Natronlauge |
| Kosten | Kosten für Natronlauge entsprechen in etwa denen für Druckluft | Kosten für Druckluft entsprechen in etwa denen für Natronlauge | – |
| Erweiterung der Anlage | Erhöhung der Natronlaugezugabe | Austausch der Module gegen größere notwendig | Natronlauge |

einer optimalen Qualität hergestellt werden kann.

Die Ergebnisse bezüglich des Härtestabilisators zeigen, daß eine nahezu doppelt so hohe Konzentration, wie eigentlich vom Hersteller angegeben, eine gute Stabilisierung der Härtebildner des Wassers bewirkt. Der Härtestabilisator ist im aufbereiteten Wasser nicht mehr nachweisbar; er wird somit vollständig von der Reversosmose zurückgehalten.

Bei einem Stadtwasser mit geringer Härte stellt der Einsatz von Letzcon Plus wahrscheinlich kein Problem dar. Bei sehr hartem Wasser (> 22° dH) ist die Verwendung eines Härtestabilisators immer genauestens zu bewerten.

Literatur

[1] Schrankler, S., Platt, D. B., Reverse osmosis – Pretreatment and cleaning of RO systems with carbon dioxide for the

pharmaceutical and the food industry, in: Ultrapure water, S. 42–47, Oktober 1998

[2] Bartz, D. B., Ingenieurbüro Bartz (TGA – Verfahrenstechnik – Wasserchemie – Reinraumtechnik – Umweltschutz – VDI), Gutachterliche Stellungnahme zur Anwendung von Patent Letzner „Kohlensäurecarbonisierung“ bei Erzeugung von Gereinigtem Wasser für die Pharmaindustrie, Pulheim, 30. 11. 1998

[3] Köpps, A., Busacker, S., Hameln pharmaceuticals GmbH: Anlage zur Erzeugung, Lagerung und Verteilung von HPW Highly Purified Water, Hameln, 9. 9. 2004

[4] Letzner, H.-H., Letzner Pharmawasseraufbereitung GmbH, Allgemeine Informationen zur Pharmawasseraufbereitung – PW, HPW, WFI, RD, Aqua purificata, Aqua valde purificata, Aqua ad iniectabilia, Reinstdampf, Hückeswagen (2003)

[5] Lemke, K., Letzner Pharmawasseraufbereitung GmbH, Bedienungsanleitung Leihanlage 1079, Hückeswagen, September 2003

[6] Letzner Pharmawasseraufbereitung GmbH (Hrsg.), Sicherheitsdatenblatt Letzcon Plus, Hückeswagen 4. 4. 2004

[7] Letzner, H.-H., Letzner Pharmawasseraufbereitung GmbH, Seminar über Pharmawasseraufbereitung, Hückeswagen 1. 6. 2005

[8] Feuerhelm, K., Pharmawasser – Wasser als wichtigster Ausgangsstoff bei der Arzneimittelherstellung – Teil 1, in: PTA heute, Nr. 2, S. 63–66 (2001)

[9] Busacker, S., Hameln pharmaceuticals GmbH, Auswahl und Vergleich einer neuen HPW-Gesamtanlage, Hameln 7. 7. 2004

[10] Membrana Charlotte Europe, Cellgard LLC (Hrsg.), Operating Guide Liqui-Cel, Membrane Contactors, North Carolina, USA (2004)

Korrespondenz:

Apoth., Dipl.-Pharm. Sarah Wilken, Alte Marktstr. 19, 31785 Hameln (Germany), e-mail: skaana@gmx.de