



STEINBEIS - TRANSFERZENTRUM  
UMWELTTECHNIK

Steinbeis-TZ Umwelttechnik  
Macairestraße 11, 78467 Konstanz

Carbonit Filtertechnik GmbH  
Herrn Dr. Peter Westerbarkey  
Industriestraße 2

29410 Salzwedel

Leiter: PROF. DR. BERND WURSTER

Macairestrasse 11, 78467 Konstanz

Fon: 0049 (0)7531/189557

Fax: 0049 (0)7531/458083

Email: stz190@stw.de

Deutsche Bank AG, Konstanz

Kto.-Nr. 0 421 321 (BLZ 690 700 32)

UID DE 190 606 404

22.11.2010

## Bericht

über die Untersuchung Ihres neuartigen Notwasser-Aufbereitungssystems hinsichtlich Verkeimung und Desinfektion.

Prüfung wie schnell das Notwasser-Aufbereitungssystem verkeimt. Die Vorrichtung wurde von der membrane-engineering GmbH entwickelt und besteht aus einem Vorlagebehälter, einer Tauchpumpe, einem Vorfilter (Carbonit, Vario Classic, 50 µm) und einem Ultrafilter (IMT, 250 UF/MB/TAP, 20 nm) mit Durchspülventil. Da im Verlauf der Entwicklung und Prüfung durch dieses System bereits mehrere hundert Liter Kläranlagenablauf filtriert wurden, und wir das System von der membrane-engineering „gebraucht“ übernahmen, prüften wir als ersten Schritt das Ausmaß der bestehenden Verkeimung. Dazu füllte man 15 Liter Leitungswasser in den Vorlagebehälter und pumpte dieses Wasser mit einem Fluss von 1 Liter/Minute durch das Filtersystem. Von dem ersten Liter des Permeats fing man eine Probe in einem sterilen Gefäß auf und strich davon 0,4 ml auf jede von 4 Nähragarplatten aus. Zwei Platten bebrütete man einen Tag lang bei 37°C und die anderen zwei Platten zwei Tage lang bei 22°C. Die Auszählung der bei achtfacher Vergrößerung deutlich erkennbaren Bakterienkolonien (KBE, kolonie-bildende Einheiten = vermehrungsfähige Bakterien) ergab eine starke Verkeimung auf der Permeatseite des Ultrafilters mit mehr als 10.000 KBE/ml. Die in diesem Versuch und in den nachfolgenden Versuchen ermittelten Keimzahlen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Eine beispielhafte Abbildung von zwei Nähragarplatten mit Bakterienkolonien befindet sich im Anhang.

*Erklärung der Verkeimung nach dem Ultrafilter: Obwohl der Ultrafilter 99,9999 Prozent der Bakterien aus dem Kläranlagenablauf abtrennt, treten einige wenige Bakterien durch den Ultrafilter hindurch und können sich auf der Reinwasserseite ansiedeln. Durch die im Permeat des Kläranlagenablaufs noch vorhandenen gelösten Nährstoffe können sich die Bakterien vermehren und einen Biofilm bilden.*

Durch die starke Verkeimung des „gebraucht“ übernommenen Notwasser-Aufbereitungssystems musste dasselbe vor Beginn der eigentlichen Versuche desinfiziert werden. Als Desinfektionsmittel wählte man das in Tablettenform erhältliche und für Notwasser zugelassene Natriumdichlor-isocyanurat. Das zunächst ins Auge gefasste Desinfektionsmittel Calciumhypochlorit gibt es nicht in Form von kleinen Tabletten. Es wurde als Granulat beschafft, dann aber wegen der schlechteren Handhabbarkeit und den im Vergleich mit Natriumdichlorisocyanurat stärkeren Gefahrstoff-eigenschaften nicht eingesetzt. Zur Desinfektion des Notwassersystems löste man 3 Tabletten Natriumdichlorisocyanurat, die 540 mg freiem Chlor entsprechen, in 10 Liter Leitungswasser, füllte diese in den Vorlagebehälter und pumpte zunächst ca. 6 Liter durch die Filter und spülte die Ultrafiltrationsmembran auf der Schmutzseite durch. Nach einer Wirkungszeit von 30 Minuten pumpte man die restlichen ca. 4 Liter Desinfektionslösung durch die Filter. Danach wurde das System mit Hilfe von 4 Mal 5 Liter Leitungswasser von Desinfektionsmittel befreit. Aus den letzten 5 Litern sammelte man eine Probe des Permeats in einem sterilen Gefäß und strich davon 0,4 ml auf jede von 4 Nähragarplatten aus. Bebrütung und Auszählung wie oben beschrieben. Dass eine starke Verminderung der Keime erfolgte, die Entkeimung aber nicht vollständig war, zeigen die ermittelten Keimzahlen KBE/ml (siehe Tabelle 1).

In der Folge begann man mit den Versuchen unter Verwendung von Ablauf der Kläranlage Konstanz. Vor der Filtration bestimmte man den Bakteriengehalt im Kläranlagenablauf zu 43.000 KBE/ml (Bebrütung 1 Tag bei 37°C) und 48.000 KBE/ml (Bebrütung 2 Tage bei 22°C).

Die Filtration erfolgte in diesem und den nachfolgenden Versuchen nach folgendem Protokoll: 50 L Kläranlagenablauf pumpte man im Verlauf von 1 bis 2 Stunden durch das Notwasser-Aufbereitungssystem, bestimmte Temperatur, Fluss und Druck, spülte die Ultrafiltrationsmembran auf der Schmutzseite durch, sammelte eine oder mehrere Proben des Permeats in sterilen Gefäßen und strich davon 0,4 ml auf mehrere Nähragarplatten aus. Bebrütung und Auszählung wie oben beschrieben.

Da bereits bei diesem ersten Versuch mit Kläranlagenablauf die Keimzahl im Permeat auf 670 KBE/ml angestiegen war, führte man (wie oben beschrieben) eine weitere Desinfektion unter Verwendung einer um den Faktor fünf höheren Chlorkonzentration durch. Auf diese Weise gelang eine vollständige Entkeimung (siehe Tabelle 1).

Es zeigte sich jedoch, dass bereits innerhalb von zwei Tagen die Keimzahlen im Permeat wieder stark anstiegen. Dies traf insbesondere auf den ersten Liter bei Filtrationsbeginn zu, in dem man >10.000 KBE/ml bestimmte. Mit fortdauernder Filtration ging nach einem durchgepumpten Volumen von 40 L die Keimzahl auf 490 KBE/ml zurück (siehe Tabelle 1). Für Keime, die sich bei 37°C vermehren können, ist dieser Gehalt in Trinkwasser nicht akzeptabel. Wie sind diese hohen Keimgehalte zu verstehen? Die Filtrationsdauer beträgt 1 bis 2 Stunden pro Tag. In der Ruhephase von mindestens 22 Stunden (über die Wochenenden jedoch deutlich länger) können sich die auf der Permeatseite vorhandenen Bakterien vermehren und möglicherweise auf der Membran und auf der Innenseite des Moduls einen Biofilm bilden. Ein Großteil dieser Bakterien wird im ersten Liter Permeat ausgespült.

Durch die relativ schnelle Verkeimung des Systems musste die ursprünglich geplante und in unserem Angebot beschriebene Vorgehensweise geändert werden: Statt nach 7 und 14 Tagen (und zur Wiederholung nach 21 und 28 Tagen) wurden die Keimgehalte an jedem Versuchstag bestimmt. Da von Tag zu Tag über das weitere Vorgehen zu entscheiden war, mussten die Keimzahlen nach einem Tag zu ermitteln sein. Das war nur bei einer Bebrütungstemperatur von 37°C möglich, weshalb auf die mindestens zwei Tage dauernde Bebrütung bei 22°C verzichtet wurde. Noch eine Erläuterung zu der Temperatur des durch das Notwassersystem gepumpten Kläranlagenablaufs. Von der Kläranlage holte man jeweils ein Volumen von 100 L Ablauf (in zehn 10-L-Behältern). Davon pumpte man 50 L des kühlen Ablaufs sofort durch das System, während

STEINBEIS - TRANSFERZENTRUM  
UMWELTECHNIK

man die restlichen 50 L bei Raumtemperatur bis zum nächsten Tag beließ und dann bei Raumtemperatur filtrierte. Ein Einfluss der Temperatur auf die Filtration ist nicht erkennbar.

Mit dem Ziel, das Notwassersystem nachhaltiger zu entkeimen, führte man eine Desinfektion mit Natriumdichlorisocyanurat (1.800 mg freies Chlor / 10 Liter) bei erhöhter Temperatur (40°C) und längerer Einwirkungsdauer (1 Stunde) durch. Die dadurch erreichte vollständige Entkeimung hielt jedoch wiederum nicht an. Die Keimgehalte nahmen von Tag zu Tag zu (siehe Tabelle 1).

In einem weiteren Versuch ersetzte man den „gebrauchten“ durch einen ungebrauchten Ultrafilter (IMT) mit gleichen Eigenschaften aber nur halber Länge, und tauschte auch den Vorfilter (Carbonit) durch einen baugleichen, neuen aus. Wie die in Tabelle 1 eingetragenen Messwerte zeigen, waren bereits bei der Filtration der ersten 40 L Kläranlagenablauf einige wenige bei 37°C vermehrungsfähige Bakterien im Permeat vorhanden. Diese stammten vermutlich aus dem Ablaufhahn, der nicht ausgetauscht worden war. In den folgenden Tagen war ein dramatischer Anstieg der Keimgehalte auf der Permeatseite des neuen Ultrafilters zu erkennen.

**STEINBEIS - TRANSFERZENTRUM**  
**UMWELTECHNIK**

Tabelle 1: Keimzahlen im Permeat

| Versuch/<br>Datum | Temperatur<br>°C   | Bakterienzahl (KBE)/ml<br>nach Bebrütung |                   | Bemerkung                      | Fluss<br>Liter/min | Druck<br>bar |
|-------------------|--|--|-------------------|--------------------------------|--------------------|--------------|
|                   |  | 2 Tage bei<br>22°C                       | 1 Tag bei<br>37°C |                                |                    |              |
| 28.10.2010        |  | > 10.000                                 | > 10.000          | erster Liter<br>*1             |                    |              |
| 28.10.2010        | Desinfektion mit Natriumdichlorisocyanurat (540 mg freies Chlor / 10 Liter),<br>30 Minuten bei 20°C                |  |                   |                                |                    |              |
| 28.10.2010        |  | 11                                       | 8                 | nach 15 L<br>*1                |                    |              |
| 02.11.2010        | 15,9   |  | 670               | nach 20 L<br>*2                | 1,0                | 0,7          |
| 03.11.2010        | Desinfektion mit Natriumdichlorisocyanurat (1.800 mg freies Chlor / 10 Liter),<br>30 Minuten bei 20°C              |  |                   |                                |                    |              |
| 03.11.2010        | 20,2   | 0  | 0                 | nach 40 L<br>*2                | 1,0                | 0,7          |
| 04.11.2010        | 14,0   | 11                                       | 14                | nach 40 L<br>*2                | 0,7                | 0,75         |
| 05.11.2010        | 20,3   |  | > 10.000<br>490   | im 1. Liter<br>*2<br>nach 40 L | 0,73               | 0,7          |
| 08.11.2010        | Erneut Desinfektion mit Natriumdichlorisocyanurat (1.800 mg freies Chlor / 10 Liter),<br>1 Stunde bei 40°C         |  |                   |                                |                    |              |
| 09.11.2010        | 13,0   | 0  | 1                 | nach 40 L<br>*2                | 0,74               | 0,75         |
| 10.11.2010        | 20,2   |  | 1.700<br>24       | im 1. Liter<br>*2<br>nach 40 L | 0,74               | 0,75         |
| 11.11.2010        | 13,4   |  | > 5.000<br>56     | im 1. Liter<br>*2<br>nach 40 L | 0,57               | 0,75         |
| 12.11.2010        | 20,2   |  | 30.000<br>414     | im 1. Liter<br>*2<br>nach 30 L | 0,61               | 0,75         |
| 15.11.2010        | Neuer, unbenutzter Ultrafilter (halb so groß wie der vorhergehende Ultrafilter), und neuer Vorfilter<br>(Carbonit) |  |                   |                                |                    |              |
| 15.11.2010        | 13,3   |  | 5                 | nach 40 L<br>*2                | 0,70               | 0,75         |
| 16.11.2010        | 19,5   |  | 876<br>105        | im 1. Liter<br>*2<br>nach 30 L | 0,36               | 0,75         |
| 18.11.2010        | 13,4   |  | 164.000<br>8.000  | im 1. Liter<br>*2<br>nach 30 L | 0,31               | 0,85         |

\*1: Permeat nach Filtration von Leitungswasser

\*2: Permeat nach Filtration von Kläranlagenablauf

### Fazit

*Aus den geschilderten Versuchen und den dabei erhaltenen, in Tabelle 1 zusammengestellten Messwerten geht hervor, dass das untersuchte Notwasser-Aufbereitungssystem bei Verwendung von Kläranlagenablauf nicht ohne weitere Maßnahmen keimfrei gehalten werden kann. Gründe sind ein relativ hoher Bakteriengehalt im Kläranlagenablauf von mehr als 40.000 KBE/ml und eine Konzentration von gelösten Nährstoffen, die weit über derjenigen von Flusswasser oder Grundwasser liegt.*

*Eine Literaturrecherche und Gespräche mit Herstellern von Filtrationsanlagen für Notwasser führte zu dem Hinweis, dass in manchen Filtrationssystemen zur Verhinderung von Verkeimung ein langsam lösliches Chlorprodukt eingesetzt wird. Dabei soll das durchfließende Wasser so viel Chlorprodukt lösen, dass eine kontinuierliche Entkeimung gewährleistet wird. Bei dem langsam löslichen Chlorprodukt handelt es sich vermutlich um Trichlorisocyanursäure.*

*Wenn man das Notwasser-Aufbereitungssystem auf Wasser mit hohen Bakterienggehalten und relativ hohen Nährstoffgehalten auslegen will, sollte man einen kontinuierlichen Keimschutz vorsehen.*

Konstanz, 22.11.2010

Dr. Bernd Wurster