

Masterarbeit

Thema: Optimierung der Flockungsfiltration und Desinfektion für das Haltungswasser der Robben im Rostocker Zoo

Bearbeiter: Martin Rinas

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Habil. Jens Tränckner

Datum: 5. Januar 2015

Zusammenfassung

Die Erörterung des aktuellen wasserwirtschaftlichen Zustandes erfolgte zunächst durch die Aufnahme vorhandener Betriebsdaten und Baupläne der betrachteten Anlage. In diversen Gesprächen mit den verantwortlichen Mitarbeitern konnten weitere Informationen erfasst werden. Die anschließende, grundlegende Einarbeitung in das System, beruhte neben den vom Zoo Rostock bereitgestellten Informationen, auf den in der Literatur befindlichen Wissensgrundlagen, insbesondere bezüglich der drei Reinigungsstufen Flockung, Filtration und Desinfektion. Durch diese Erkenntnisse konnten nachfolgende Untersuchungen geplant und entsprechend den Regeln der Technik durchgeführt werden. Die sowohl extern als auch selbstständig durchgeführten Wasseranalysen der Becken, im Zuge der Flockungsmittelversuche, belegen die, vor allem im Sommer, schlechte Wasserqualität.

Die Verschmutzung an sich ist durch eine Eutrophierung gekennzeichnet. Diese entsteht bei ungenügender Reinigungsleistung durch die Aufwärmung des Wassers im Frühling und Sommer, starke Strahlungseinwirkungen und permanenten Nährstoffeintrag. Zur Entstehung des Phytoplanktons tragen hauptsächlich anorganische Nährstoffe und Verbindungen wie Phosphat (P) und Stickstoff (N) in verschiedenen Formen bei. Der Eintrag dieser Stoffe erfolgt im Wesentlichen durch die Ausscheidungen der Tiere. Dabei ist das gelöste ortho-Phosphat (PO₄-P) von besonderer Bedeutung, da bereits ab Konzentrationen von 0,005 mg/l Algenwachstum eintreten kann (VGL. PÜTZ, 2008, S. 2). Neben diesen pflanzenverfügbaren Nährstoffen werden auch gelöste organische Stoffe wie Eiweiße, Fette und Aminosäuren durch die Exkremente eingetragen, die einen Anstieg des DOC-Gehaltes zur Folge haben. Diese Verbindungen bilden eine gute Grundlage für die Entstehung von mikrobiellen Organismen, wie beispielsweise *Pseudomonas aeruginosa*. Daneben befinden sich bereits Bakterien wie *Escherichia Coli* in den Ausscheidungen der Tiere. Unter zunehmend schlechten Wasserqualitäten können von anaerob arbeitenden Mikroorganismen im späteren Stadium der Eutrophierung gesundheitsgefährdende Stoffe wie Ammoniak (NH₃) und Schwefelwasserstoff (H₂S) gebildet werden. Kolloidale Schwebstoffe wie feste Kotreste, Haare, Sand und Blätter tragen ein Übriges zur Verschmutzung der Haltungswässer bei.

Als Resultat zeigt sich ein stark trübstoffhaltiges Wasser mit teilweise hohen Nährstoffgehalten und mikrobiellen Belastungen. Neben hohen PO₄-P-Gehalten von 1,94 mg/l konnten mikrobiellen Belastungen von bis zu 921 KBE/100 ml im Beckenwasser der Seehunde nachgewiesen werden. Im größeren Seebärenbecken konnten neben niedrigeren PO₄-P-Konzentrationen zwischen 0,1 mg/l und 0,3 mg/l auch geringere mikrobielle Belastungen festgestellt werden.

Diesen Verschmutzungsmechanismen wird im Zoo Rostock, im Gehege der See-bären und Seehunde, mit jeweils einer Flockungsfiltrationsanlage mit anschließender Desinfektion entgegen gewirkt. Die Funktionsfähigkeit bezüglich der Wasserreinigung ist jedoch in beiden Systemen als schlecht zu bewerten. Nach eingehenden Untersuchungen kann die im jeweiligen System befindliche Förder-einrichtung als ausschlaggebend für einen ausbleibenden Reinigungseffekt ange-sehen werden. Jeweils eine trocken aufgestellte Abwasserpumpe bildet die Grundlage für die Kreislaufführung des Beckenwassers. Die Pumpen werden mit Volumenströmen von Q_{SB} ≈ 65 m³/h und Q_{SH} ≈ 37 m³/h betrieben und sind damit für die anschließenden Reinigungsstufen nicht geeignet. Das unmittelbar hinter der Pumpe injizierte Flockungsmittel (FM) wird zwar gut in der Zulaufleitung zum Filter verteilt, allerdings können sich aufgrund hoher Schergeschwindigkeiten keine Flocken ausbilden. Auch im Filterüberstau sowie im Filterbett des jeweiligen Druckfilters selbst, kann eine Flockung, aufgrund hoher Filtergeschwindigkeiten nicht ablaufen. Diese liegen mit v_{FilterSB} = 28,6 m/h und v_{FilterSH} = 16,3 m/h zwar im vorgeschriebene Bereich für Druckfilteranlagen von bis zu 30 m/h (DIN 19643-2, 2012, S. 10), sind allerdings sind für die Flockenausbildung und Abscheidung zu hoch. Empfohlene Filtergeschwindigkeiten für den erfolgreichen Betrieb einer Flockung mit anschließender Filtration liegen bei maximal 15 m/h (DVGW, 2005 , S. 8).

Der ausbleibende Reinigungseffekt konnte durch Filterüberwachungen vor Ort nachgewiesen werden. Im Zuge dieser Untersuchungen wurde an beiden Druckfilteranlagen neben den täglich durchgeführten Rückspülprozessen der Filterbetrieb über mehrere Stunden überwacht. Innerhalb der 11 min andauernden Wasserspülung, konnte innerhalb des Rückspülprozesses in einem Zeitabstand von 1 min die Trübung des Ablaufes erfasst werden. Beim Spülprozess konnte in 5 überwachten Vorgängen, ein grundsätzlich gleicher Trübungsverlauf festgestellt werden, gekennzeichnet von hohen Trübungen und schnellen Abfall in den ersten Minuten bis zu geringen und konstanten Trübungswerten am Ende des Prozesses. Besonders am 21.10.2014 konnte ein guter Rückspülvorgang am Filter des Seebären mit anfänglich hohen Trübungen von 602 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) bis zu Ergebniswerten von 4,94 NTU am Filterauslauf nachgewiesen werden. Die Trübungswerte der im September überwachten Rückspülprozesse ergaben lediglich Spitzen von ≤ 142 NTU mit schlechteren Endwerten von ≥ 13,7 NTU. Aus der Überwachung des Filterbetriebes ergaben sich ähnliche Ergebnisse. Während des Filterbetriebes im September 2014 konnten negative Trübungsdifferenzen von durchschnittlich -3,2 NTU festgestellt werden. Die bedeutet eine stärkere Verschmutzung am Filterablauf als am Filterzulauf. Lediglich am 21.10.14 konnte eine geringe Filtrationswirkung mit einem Herabsetzen der Trübung um 1,3 NTU nachgewiesen werden.

Ausschlaggebend für den verbesserten Filterbetrieb war die Reparatur der FM-Injektionsstellen, Anfang Oktober 2014. Diese wurde aus verschiedenen Gründen angeordnet. Zum einen konnte trotz angenommener FM-Injektion bei Probenent-nahme im Filterzulauf und anschließender Ruhephase keine Flockenbildung ver-zeichnet werden. Des Weiteren konnte die ausgebliebene Filterwirkung nicht mit den geringen Al-Restgehalten im Becken vereinbart werden. Bei der anschließenden Untersuchung der FM-Injektionsstellen beider Systeme zeigten sich Schädigungen der

Injektionsanschlüsse. Ein Großteil des FM ist demnach nicht in den jeweiligen Filterzulauf dosiert worden, sondern ausgetreten.

Während der Überwachung des Filterbetriebes konnte zudem der pH-Wert als auch die Druckdifferenz am jeweiligen Schnellfilter erfasst werden. Im Schnitt ergab sich ein täglicher pH-Anstieg um 0,25. Der pH-Wert ist morgens in einem, für die Flockungsmechanismen, akzeptablen Bereich von 7,05 +/- 0,5 und steigt dann im Tagesverlauf auf bis zu 7,3 an. In diesem pH-Wert Bereich wird sowohl die Wirksamkeit des FM, als auch des Desinfektionsmittels bereits herabgesetzt. Die schwache Reinigungswirkung macht sich auch in der Druckdifferenz bemerkbar. Zwar gibt es eine Druckdifferenz von $\approx 0,2$ bar, die allerdings keine Änderung während des Filterbetriebes erfährt. Der im Normalfall zu verzeichnende Anstieg der Druckdifferenz konnte zu keinem Zeitpunkt der Überwachung festgestellt werden.

Zum Filter selbst wurde eine Analyse des Filtermaterials durchgeführt. Dabei wurde der Filterkies mit der Körnung 0,7 bis 1,2 mm durch eine Siebanalyse auf seinen Zustand hin untersucht. Die in Kapitel „2.2.2 Filtration“ empfohlene enge Stufung des Filtermaterials mit einem Ungleichförmigkeitsgrad $U < 1,5$, konnte nur für unbenutztes Filtermaterial bestätigt werden. Beim aktuellen Filtermaterial konnte ein Ungleichförmigkeitsgrad von U_{P2} von 1,94 errechnet werden. Der Anteil der Körner im feinen Bereich hat sich demnach erhöht. Das Filtermaterial befindet sich jedoch in einem guten Zustand. Zur schlechten Reinigungsleistung des Gesamtsystems trägt es nicht bei. Bei ordentlicher Betriebsweise kann das Filtermaterial auch entsprechende Schmutzpartikel und gebildete Flocken zurückhalten.

Die Durchführung der Flockungsmittelversuche war ein zentraler Bestandteil der Arbeit. Es wurden in 2 Versuchsaufbauten insgesamt 21 Versuchsreihen mit teil-weise bis zu 6 Einzelversuchen durchgeführt. Daraus ergeben sich insgesamt 114 durchgeführte FM-Versuche. Ausgeführt wurden die Versuche an einem Reihen-rührgerät mit 6 Einzelrotoren und Rührgläsern mit 1000 ml Volumen. Als Pro-benwasser kam das, jeweils für jeden Versuch aus den Becken geschöpfte, Hal-tungswasser zum Einsatz. Getestet wurden die FM „Me 27 Superflock“, „Sachtoklar 39“, „Sachtoklar“, „Sachtipur“ und „Sachtoklar P“. Diese FM unterscheiden sich grundsätzlich in ihrem Gehalt an Aluminium-, Chlorit- und Sulfat-Ionen sowie ihrer Basizität. Mit dem erstgenannten FM konnte das derzeit im Zoo Rostock im Bereich der Robbenanlage verwendete Flockungsmittel intensiv untersucht werden. Es stellte sich heraus, dass dieses FM, bezüglich der Eliminationswirkung des $PO_4\text{-P}$ und der Trübstoffbeseitigung, keine guten Voraussetzungen für eine schnelle Flockungsfiltration bietet. Bezogen auf die Gesamtmenge wird das FM mit bis zu 22,5 mg/l dosiert. Durch die hohe Basizität von 80% beinhaltet das FM hohe Anteile an polymeren Aluminiummolekülen und ist damit für die Flockung kolloidaler Bestandteile gut geeignet, da es bereits stark kationisch geladen injiziert wird. Dies führt allerdings auch dazu, dass eine Überschreitung der Ladungsneutralisation recht früh eintritt und das FM überdosiert eingesetzt wird. Die geringe Phosphatfällung und langsame Flockenbildung führen bei den derzeitigen Betriebseinstellungen, insbesondere bezogen auf die jeweils hohe Pumpenleistung, zu kaum erfassbaren Reinigungswirkungen. Aus den restlichen Testreihen geht das FM „Sachtoklar 39“ als das am besten geeignete FM hervor. Es erreichte mit der geringsten Dosierung, sowohl bezüglich der $PO_4\text{-P}$ -Elimination (bis auf 0,01 mg/l) als auch der Trübungs-beseitigung (Ergebnis nach Sedimentation 0,27 NTU) die besten Ergebnisse. Bei einer Al-Dosierung von 4 mg/l konnte ebenfalls eine ausreichend schnelle Flockenbildung erreicht werden. Innerhalb von 5 Minuten konnten Flocken gebildet werden, welche die bereits erwähnten Eliminationsraten nach dem Sedimentationsvorgang gewährleisteten. Die schnelle Flockenbildung

und gute Reinigungswirkung konnte erst nach eini-gen Änderungen der hydraulischen Eingangsbedingungen für den Einmisch- und Flockenbildungsvorgang erreicht werden. Es stellte sich heraus, dass bei geringen Dosiermengen eine längere und intensivere Durchmischung zu einem besseren Ergebnis innerhalb der Flockenbildungsphase führt, als eine kurze Einmischphase mit niedrigen Energieeinträgen. Im konkreten Beispiel handelt es sich um eine 45 s dauernde Einmischphase bei Rotordrehzahlen von 200 min⁻¹. Eine Erhöhung oder Senkung der Drehzahl um 100 min⁻¹ hat bereits einen stark negativen auf die anschließende Flockenbildungsphase. Im letzten Versuchsaufbau, mit hydraulisch optimierten Eingangsbedingungen, wurden DOC-Eliminationsraten von bis zu 36 % (Eingangsgelalt DOC bei 9,36 mg/l) bei einem pH-Wert von 6,8 erreicht. Auch der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) von ursprünglichen 13,4 mg/l konnte auf 8,6 mg/l gesenkt werden. Die Erfassung der TS-Reduktionsraten bei FM-Versuchen mit Sedimentationsphasen sind allerdings mäßig aussagekräftig, da stets nicht sedimentierte Bestandteile aus dem Überstand in die Messung einbezogen werden.

Es wurde insbesondere im zweiten Versuchsaufbau auf die schnelle Flockenbildung geachtet, da unter aktuellen Betriebseinstellungen bzw. aktueller Pumpenkonfiguration, maximal 5 min zur Aufbereitung des Wassers vorhanden sind. Dies ist die Zeit, die das Wasser vom Injektionspunkt des Flockungsmittels bis zum Filterablauf benötigt. Die übrigen, getesteten FM konnten eine zufriedenstellende Wirkung nur in einzelnen überwachten Kategorien und Parametern oder unter dem Einsatz des Flockungshilfsmittels (FHM) „Emflock KCG 750“ erbringen. Die Injektion des FHM führte, bei optimierten hydraulischen Eingangsbedingungen, zu einer Steigerung der Flockenbildungsgeschwindigkeit sowie zu der Ausbildung größer und stabiler Makroflocken.

Um die Ergebnisse der FM-Versuche auf ihre Wirksamkeit innerhalb einer Filtrationsanlage zu untersuchen, wurden 2 Flockungfiltrationsversuche durchgeführt. Dazu wurde ein Filter, vorwiegend aus PEHD-Rohren konstruiert, mit originalen Filtermaterial gefüllt und durch eine Schlauchpumpe kontinuierlich mit vorgeflocktem Probenwasser beschickt. Innerhalb der 2 Versuche wurde bezüglich des Versuchsaufbaues nur die Drehzahl der Schlauchpumpe geändert. Dabei wurde im ersten Versuch mit einer Drehzahl von 25 min⁻¹, entsprechend 5 m/h Filtrationsgeschwindigkeit, sowie im zweiten Testlauf mit 50 min⁻¹, entsprechend 10 m/h Filtrationsgeschwindigkeit, gearbeitet. So konnte im Laborversuch getestet werden, ob sich bei geminderter Durchsatzmenge eine Flockenfiltration einstellt. Grund dafür sind die in der Literatur empfohlenen Filtrationsgeschwindigkeiten und die im Zoo ausbleibende Reinigungsleistung bei aktueller Pumpenkonfiguration.

Nach kontinuierlicher Probennahme während der Versuchslaufzeit, zeigte sich in beiden Versuchen ein paralleler Verlauf des TS-Gehalts, der Trübung sowie des PO₄-P-Gehalts über die Einarbeitungsphase bis zum Filterdurchbruch. Die besten Ergebnisse wurden bei einer Filtrationsgeschwindigkeit von 5 m/h nach 125 min Laufzeit und einem Durchsatzvolumen von 40 l erfasst. Hier konnte vor allem eine auf die realen Verhältnisse übertragbare Reduktion des TS-Gehaltes erfasst werden. Dieser konnte von ursprünglichen 12,4 mg/l auf 2,4 mg/l gesenkt werden. Entsprechend ergeben sich auch sehr gute Trübungswerte von 1,55 NTU und PO₄-P-Gehalte von 0,01 mg/l. Der anschließende Filterdurchbruch, gekennzeichnet vom plötzlichen Anstieg der überwachten Parameter, beendete die Filtrationswirkung. Es resultierten Ablaufwerte der Trübung von 37,5 NTU sowie des PO₄-P-Gehaltes von 1,37 mg/l.

Die im Labor erfassten Daten lassen sich auf die Filteranlage im Zoo übertragen. Daraus ergibt sich bei Übernahme der Betriebseinstellungen aus den Laborversuchen ein Durchbruch $Q_1 = 344 \text{ m}^3$ bei einer Filtergeschwindigkeit von 5 m/h . Damit liegt die Filtrationsdauer bei rund 30 h . Bei höheren Filtergeschwindigkeiten von 10 m/h verringert sich die Durchsatzmenge um 100 m^3 , sowie die Dauer entsprechend um die Hälfte. Berechnet man die bis zum Durchbruchzeitpunkt eingetragene Trockensubstanz auf die realen Verhältnisse um, erhält man eine Filterbelastung von $FB \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$. Die Gesamtbelastung beläuft sich dann auf $FBZ = 4,6 \text{ kg}$.

Die Filterwirkung steigerte sich im Laufe des Laborexperiments. Bildet man die Differenzen der TS-Gehalte, gemessen am Filterablauf, erkennt man, dass bei gleichbleibenden Betriebseinstellungen der Rückhalt bis zum Durchbruch stark zunimmt. Die zunehmende Verengung des Filterraumes kann für diesen Effekt als ausschlaggebend benannt werden.

Aus den Flockungsfiltrationsversuchen lässt sich gut erkennen, dass eine größere Filtrationsgeschwindigkeit eine schlechtere Filterleistung bedingt. Je größer die Filtrationsgeschwindigkeit, umso weniger Durchsatzmenge und Fracht kann eingebracht werden, bevor es zum Filterdurchbruch kommt. Grund dafür ist die verringerte Aufnahmekapazität des Filterbettes bei erhöhten Fließgeschwindigkeiten. Der Filterraum kann nicht vollständig genutzt werden und ein entsprechend früher Filterdurchbruch resultiert. Dieser Ansatz zeigt, dass besonders bei hohen Schmutzbelastungen und einer funktionierenden Flockungsfiltration die Intervalle der Rückspülprozesse verkürzt werden müssen.

Wird der Filter nach dem Durchbruch weiter betrieben, wie im Laborversuch gezeigt, sinken die Ablaufwerte zunächst wieder ab. Dies zeigte sich in Versuchsaufbau 1 in den verringerten Trübungswerten und $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen. Dieser Aspekt spricht für eine weitgehende Ausspülung der Schmutzpartikel aus dem Filterraum. Im folgenden stellte sich keine Filtrationswirkung ein, da sich vermutlich singuläre Leitbahnen bildeten, die eine direkte Verbindung zwischen Filterüberstau und Filterboden schufen. Das Schmutzwasser konnte so ungehindert den Filterraum passieren und nahezu ungefiltert austreten.

Die Ergebnisse der Flockungsfiltrationsversuche zeigen, dass eine gute Reinigungswirkung mit den richtigen Betriebseinstellungen erzielt werden kann. Eine vollständige Reinigung ist damit allerdings nicht bewirkt, da sich auch bei Reduktion des DOC-Gehaltes weiterhin mikrobielle Organismen im Wasser befinden. Sie werden in der letzten Reinigungsstufe, der Desinfektion, vom Natriumhypochlorit (NaClO) oxidiert. Um den Gesundheitszustand der Tiere nicht zu gefährden, sollten die Keime im Wasser möglichst vollständig entfernt werden. Ist diese Zielstellung allerdings nur durch den Einsatz gesteigerter Desinfektionsmittelmengen möglich, sollte auf eine vollständige Reduktion verzichtet werden, da die entstehenden Trihalogenmethane (THM) aufgrund ihrer kanzerogenen Wirkung als weitaus gefährlicher einzustufen sind. Auch die bei erhöhter Dosierung und permanentem Ammoniumeintrag entstehenden Chloramine (gebundenes Chlor), sollten in möglichst geringer Konzentration im Becken vorhanden sein. Die schwach desinfizierende und gesundheitsschädliche Wirkung des entstehenden Mono- und Dichloramin, kann durch eine kontinuierliche Chlordosierung vermieden werden. Mit maximal $0,2 \text{ mg/l}$ sollte stets weniger gebundenes- als freies Chlor, mit dem Grenzbereich $0,3 \text{ mg/l}$ bis $0,6 \text{ mg/l}$, vorhanden sein (DIN 19643-1, 2012, S. 19-20). Schwankungen dieses Verhältnisses konnten, anhand des aufbereiteten Betriebshandbuches, ab Mitte Mai 2014 festgestellt werden. Dort begann man, aufgrund der

ausgebliebenen Reinigungsleistung der Flockungsfiltration, mit der diskontinuierlichen Änderung der Chlordosierung. Dies führte zu permanenten Schwankungen und stets erhöhten Chloramin-Werten.

Die tägliche Chlordosierung liegt im Mittel bei 2,88 mg/l im System der Seebären und 1,35 mg/l im System der Seehunde. Die höchste mikrobielle Belastung konnte im Becken der Seehunde im Sommer 2014, aufgrund des stark Trübstoffhaltigen Wassers und der damit ausbleibenden Desinfektionswirkung, bezüglich Escherichia Coli mit rund 1000 KBE/100 ml gemessen werden. Dies scheint zunächst recht hoch, betrachtet man sich allerdings die Grenzwerte für Badegewässer im Binnenbereich, liegt dieser Wert im Bereich der guten Qualität. Von einer vollständigen Keimreduktion innerhalb der Beckenwässer ist aufgrund der entstehenden Desinfektionsnebenprodukte abzuraten.

Für einen erfolgreichen Ablauf der Flockungs- und Desinfektionsmechanismen sind pH-Werte von 6,5 bis 7,2 anzustreben. Die aus dem Betriebshandbuch analysierten Werte ergaben mittlere pH-Werte von 7,0 bis 7,14 über einen Zeitraum von 10 Monaten. Grundsätzlich sind dies gute Voraussetzungen für den Reinigungsprozess. Allerdings beziehen sich die Werte auf frühzeitig (täglich um 8:00 Uhr) geführte Untersuchungen. Aufgrund des im Tagesverlauf auftretenden pH-Anstiegs auf 7,3 +/- 0,05 sind die Mittelwerte für eine Beurteilung nur beschränkt einsetzbar. Längerfristige Anstiege mit Werten bis 7,75 können über einen Zeitraum von mehreren Wochen die Wasserqualität komplett verändern, wie es im August 2014 im System der Seebären zu verzeichnen war.

Neben den vorgestellten Reinigungsstufen beteiligt sich eine weitere Anlage am wasserwirtschaftlichen System der Robbenanlage. Zum Ausgleich von Wasser-verlusten jeglicher Art fördert ein Brunnen aufbereitetes Grundwasser in die Becken. Das gereinigte Grundwasser (Enteisung, Entmanganung, Entsäuerung) wird oberflächlich in die Becken geleitet. Im Bereich der Seebären befindet sich die Zuleitung direkt neben der Skimmerrinne, was einen Großteil des Frischwassers direkt zum Filter befördert. Bezüglich der Reinigungsleistung der Brunnenanlage sind keine Defizite verzeichnet worden. Da die Brunnenanlage lediglich zu Ausgleichszwecken betrieben wird, hat sie keinen erheblichen Einfluss auf die Reinigungsleistung der Flockungs- und Desinfektionsstufen.

Die eingehende Untersuchung des wasserwirtschaftlichen Systems der Robbenanlage im Zoo Rostock erlaubt es nun Optimierungsansätze zu nennen, die eine Verbesserung der Situation, insbesondere im Sommer 2015, erbringen sollen. Unter der Betrachtung aller Untersuchungen und Ergebnisse kann als Hauptverursacher der geringen Reinigungsleistung die jeweilige Fördereinrichtung benannt werden. Die hohen Durchflüsse wirken sich negativ auf die Reinigungsleistung der Flockungsfiltration aus. Aus der hohen Durchsatzmenge resultieren hohe Filtrationsgeschwindigkeiten und nur kurze Zeitspannen für die Reinigung des Wassers. Eine Flockenbildung mit anschließender bzw. parallel ablaufender Filtration im Druckfilter kann sich unter diesen Bedingungen nur durch den Einsatz großer Mengen an Flockungsmitteln einstellen. Die unzureichende Entfernung der gelösten als auch ungelösten Stoffe fördert das Wachstum mikrobieller Organismen und führt zu hohen Keimbelastungen. Der Einsatz großer Mengen Desinfektionsmittel (NaClO) führt zwar zur Keimreduktion, allerdings auch zur Bildung schädlicher Desinfektionsnebenprodukte wie Mono- und Dichloramin sowie verschiedenen Trihalogenmethanen (THM).

Um eine Reinigungsleistung hervorzurufen sollten, bei Nutzung der aktuellen Infrastruktur, zunächst die Pumpen auf ein Minimum heruntergefahren werden. Dabei kann laut Angaben des Pumpenherstellers eine maximale Drosselung auf 30 m³/h durch die Schließung eines auf der

Druckseite der jeweiligen Pumpe befindlichen Schiebers erfolgen. Die Regelung des Schiebers kann im Filterhaus durchgeführt werden. Die Überwachung des Durchflusses ist dann an den vorhandenen Zählgeräten im Filterhaus möglich. Die Drosselung des Durchflusses hat in beiden Becken eine Umwälzleistung von 720 m³/d zur Folge. In den baugleichen Filtern stellt sich jeweils eine Filtrationsgeschwindigkeit von 13,2 m/h ein. Damit steht für den gesamten Reinigungsvorgang, vom Einspeisepunkt des FM bis zum Filterablauf, jeweils eine Zeitspanne von $t_{SB \text{ Ges}} = 9,50 \text{ min}$ sowie $t_{SH \text{ Ges}} = 9,26 \text{ min}$ zur Verfügung.

Durch die verlängerten Reinigungszeiträume und den geminderten hydraulischen Gegebenheiten kann sich eine Reinigungsleistung einstellen. Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten eine Optimierung bezüglich der Flockungsstufe bei veränderter Durchsatzmenge durchzuführen. Die konventionelle Variante mit Verwendung des bisherigen FM „Me 27 Superflock“ kann bei Anpassung der Dosiermenge zu einem verbesserten Reinigungsergebnis führen. Die Dosierung des FM ist dann entsprechend auf 8 mg/l einzustellen um eine Flockenbildung entsprechend den durchgeführten Flockungsversuchen zu gewährleisten. Die Dosierpumpe ist dann bei einer Frequenz von 100 % auf eine Hublänge von 8 % einzustellen. Dies würde einem täglichen FM-Bedarf von 5,76 kg ausmachen.

Stellt sich keine oder nur eine unzureichende Reinigungswirkung ein, kann bei gleichen Betriebseinstellungen das FM „Sachtoklar 39“ mit einer Al-Dosierung von 4 mg/l für einen mehrwöchigen Testlauf verwendet werden. Aus dieser Al-Dosierung ergibt sich bei der errechneten Umwälzleistung ein täglicher FM-Bedarf von 32 kg. Entsprechende Gebindegrößen sind daher bei einem Testlauf zu bestellen und auf Vorrat zu halten. Die vorhandenen Magnet-Membranpumpen können ebenso wie die vorhandenen Injektionsstellen zur Einspeisung des FM genutzt werden. Der verschlechterten Einmischphase, durch die Drosselung der jeweiligen Pumpe, sollte mit einer zweiten FM-Injektionsdüse unmittelbar in der Nähe der Ersten entgegen gewirkt werden. Um eine kontinuierliche Verteilung des FM zu erhalten, sollte die Frequenz der Dosierpumpe auf 100 % bei einer Hublänge von 32 % eingestellt werden.

In beiden Fällen ist eine optimale Flockung nur unter verbesserten pH-Bedingungen gegeben. Für das FM „Me 27 Superflock“ sollten, auch über den Tagesverlauf die pH-Werte im Bereich von 7,1 +/- 0,1 liegen. Gleiches gilt mit verändertem pH-Bereich von 6,8 bis 6,9 für das FM „Sachtoklar 39“. Tagesspitzen von 7,3 +/- 0,1 sollten vermieden werden. Dazu ist es sinnvoll den Einspeisepunkt der Schwefelsäure nicht am Filterauslass, sondern vor dem Injektionspunkt des FM zu verlegen. Dann kann eine gezielte Einstellung erfolgen und der Reaktionsweg durch das Becken wird erspart.

Um die Auswirkungen zu erfassen sollten kontinuierliche Testreihen geplant werden. Dabei sind neben der Trübung, dem PO₄-P-Gehalt sowie dem DOC-Gehalt die jeweiligen pH-Werte und Drücke in regelmäßigen Abständen zu erfassen. Auch der Anteil des freien- sowie gebundenen Chlors sollte innerhalb einer Testphase kontinuierlich überwacht werden. Stellt sich eine gute Reinigungsleistung ein, kann in Abhängigkeit vom DOC-Gehalt die Dosierung des Natriumhypochlorits gesenkt werden. Die vorgeschriebenen Grenzwerte des Chloramins sowie des freien Chlors sollten unbedingt eingehalten werden. Zu einer Verbesserung kann auch eine Verlegung der Desinfektionsmittel-Injektionsstelle näher zum Filterablauf beitragen. Daraus resultiert neben einer verbesserten Durchmischung des Desinfektionsmittels mit dem aufbereiteten Wasser auch eine Minderung der Verkeimung der Zulaufleitung zum Becken. Neben dem Chloramin sollten weitere Desinfektionsnebenprodukte während einer Testphase überwacht werden. Um die THM-

Konzentration zu erfassen sollte das Beckenwasser stetig auf Chloroform analysiert werden. Um die Bildung von Desinfektionsnebenprodukten grundsätzlich zu vermeiden ist eine kontinuierliche und gleichbleibende Chlordosierung vorzunehmen. Bei funktionierender Flockungsfiltrationsstufe ist eine Änderung der Chlordosierung nicht notwendig. Stellen sich die entsprechenden Verbesserungen der Wasserqualität ein, kann eine langsame und kontrollierte Drosselung der Dosierung vorgenommen werden. Um die derzeitige Dosiermenge beizubehalten muss die jeweilige Membranpumpe auf den verringerten Volumenstrom von 30 m³/h eingestellt werden, da sonst erheblich größere Mengen Desinfektionsmittel eingebracht werden.

Bei funktionierender Reinigung sollte insbesondere auf den Druckverlust geachtet werden. Ein Filterdurchbruch ist in allen Fällen zu vermeiden um die gefilterten Schmutzstoffe nicht erneut einzutragen. Eine rechtzeitige Filterrückspülung verhindert diesen Effekt. Steigt im Sommer die Schmutzbelastung, sollten die Intervalle der Rückspülungen bei funktionierenden Reinigungsmechanismen verkürzt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der jeweilige Filter mit der vollen Pumpenleistung gespült werden muss. Die Drosselung durch den Schieber muss demnach für die Rückspülprozesse beseitigt werden, um eine effektive Reinigung zu gewährleisten.

Die beiden vorgeschlagenen Optimierungsansätze können ebenfalls mit einer Neuanschaffung zweier Förderanlagen, mit weitaus weniger Förderleistung, kombiniert werden. Geringere FM-Dosiermengen sind dann durch geringere Durchflüsse sowie Filtrationsgeschwindigkeiten möglich, da insgesamt mehr Zeit für den Reinigungsprozess zur Verfügung steht. Bei Filtrationsgeschwindigkeiten von 5 m/h sind sehr gute Reinigungsergebnisse zu erwarten. Zudem können durch den verringerten FM-Einsatz und die verringerte Pumpenleistung erhebliche Betriebskosten eingespart werden.

Unabhängig von einer Neuanschaffung der Pumpen sowie der Wahl eines Flockungsmittels sollten, neben der Drosselung der Pumpen zwei grundsätzliche Änderungen bzw. Maßnahmen durchgeführt werden. Zum einen ist dem starken Laubbefall beider Becken im Herbst mit einer manuellen Reinigung entgegen zu wirken. Das Laub sammelt sich im Becken und verbleibt dort als zusätzliche Nährstoffquelle und Sichtbehinderung. Der automatische Austrag der Blätter erfolgt nur in geringen Mengen am Grobfilter innerhalb des Filterhauses. Dort kann der Druck teilweise extrem steigen und die Reinigungswirkung behindern. Durch ein abfischen der täglich eingetragenen Blätter kann dem entgegen gewirkt werden. Neben dieser, lediglich im Herbst auftretenden Maßnahme, ist eine permanente Änderung des Grundwassereinlaufs in das Becken der Seebären vorzunehmen. Der oberflächliche Einlauf ist mindestens auf der gegenüberliegenden Beckenseite anzuordnen. Besser noch wäre eine Einleitung in der Beckenmitte. Grund für diese Änderung ist die derzeitige Position des Einlaufes neben einer Skimmerrinne. Diese befördert derzeit einen Großteil des Frischwassers aus dem Brunnen direkt zur Filteranlage. Durch die Verlegung des Einlaufes kann dies verhindert werden.

Neben diesen, aus den Untersuchungen stammenden Optimierungen, konnte innerhalb der Flockungsmittelversuche herausgefunden werden, dass unter dem Einsatz des Flockungshilfsmittels „Emflock KCG 750“ erheblich leistungssteigernde Flockungsmechanismen ablaufen können. Interessant ist dabei die mögliche Anwendung dieser biologisch abbaubaren Stärke als unterstützendes Glied des Flockungsprozesses innerhalb starker Verschmutzungsperioden. Es zeigte sich, während der Flockungsmittelversuche, eine unter bestimmten hydraulischen Parametern,

erheblich verbesserte Reinigungsleistung mit einer schnellen Ausbildung großer und stabiler Makroflocken.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die aktuell schlechte Reinigungsleistung der Flockungfiltrationsanlage sowie das Auftreten unerwünschter Desinfektionsnebenprodukte im wasserwirtschaftlichen System der Robbenanlage im Zoo Rostock durch die entsprechend genannten Optimierungsansätze verbessert werden kann. Grundlage dafür lieferten die durchgeführten Untersuchungen innerhalb dieser Abschlussarbeit. Die Probleme innerhalb der Auslegung und Betriebsführung sind offengelegt und gleichzeitig Lösungsansätze für die Optimierung in diversen Laborversuchen entwickelt worden. Der Zoo Rostock kann mit diesen Erkenntnissen und Informationen eine deutliche Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Situation innerhalb der Robbenanlage erreichen.

Das wissenschaftliche Fachgebiet der Wasserwirtschaft befasst sich primär mit der Lehre und Erforschung der Bewirtschaftung der Ressource Wasser. Dabei werden nahezu alle relevanten Fragestellungen in verschiedenen Maßstäben angegangen. Auffallend ist, dass sich dieses Themenspektrum stets aus der Wechselwirkung zwischen dem Wasser und dem Nutzer, dem Menschen, ergibt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse und Entwicklungen fließen in Normen, Grenzwerte, Empfehlungsschreiben und Richtlinien. Daneben beschäftigen sich nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen mit anderen Fragestellungen, wie beispielsweise der Haltung von Tieren in künstlich geschaffenen Lebensräumen. Solche Haltungsbecken sind bezüglich des wasserwirtschaftlichen Aspektes kaum betrachtet worden. Bei den Becken handelt es sich, wie bei der hier betrachteten Anlage, oftmals um geschlossene, kleine Wassersysteme mit permanentem Nährstoffeintrag und hohen Reinigungsanforderungen, was eine extreme Form der Wasseraufbereitung darstellt. Die aktuellen Reinigungsmaßnahmen sind in Anbetracht des Nutzens oft unwirtschaftlich und ökologisch fragwürdig. Auf diesem Gebiet besteht daher in Zukunft ein außerordentlicher Forschungsbedarf, der verschiedene wissenschaftliche Disziplinen vereint.