

Today zoological gardens are meeting places for humans and animals. Very often there are also aquaria for marine animals. Water treatment represents one of the most important connections between keeping animals and their quality of life. The great number of possibilities for water treatment raises demand for a system allowing both an efficient and economic use as well as the increasing requirements concerning water quality. It is the purpose of this study to get information about an optimal system for the water treatment of a South American sea lion complex by means of a comparator check.

Three system variants are presented and compared in the study. In terms of physical structure special attention was directed to the required space, the selection of materials and the operation of the facilities, whereas from an ecological point of view the interrelation between the components and the influence on water balance were in the foreground of the investigations. By the use of final economic considerations with the help of a cost comparison method and a value benefit analysis the most advantageous system will be determined.



Dipl.-Ing. (BA) Laura Bryks

begann 2013 direkt nach dem Abitur ein Studium im Bereich Energie- und Umwelttechnik an der Staatlichen Studienakademie Riesa sowie im Ingenieurbüro J. Döhler in Leipzig. Für ihre Diplomarbeit erhielt sie im Jahr 2017 den 3. Preis des Vereins zur Förderung der Ingenieurausbildung der Gebäude- und Energietechnik Dresden e.V. Aktuell arbeitet sie im Ingenieurbüro D&O GmbH als Planungsingenieurin für Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärtechnik an verschiedenen Bauprojekten in ganz Deutschland.

KONTAKT: Ingenieurbüro D&O GmbH | l.bryks@ing-do.de



Prof. Dr.-Ing. Marko Stephan

studierte Energieanlagentechnik an der Technischen Universität Dresden, wo er auf dem Fachgebiet der Sicherheitstechnik von Energieanlagen 1988 zum Dr.-Ing. promovierte. Seit 2007 ist er Dozent für Versorgungs- und Energietechnik an der Studienakademie Riesa und leitet seit 2014 den Studiengang Energie- und Umwelttechnik. Seine Arbeits- und Forschungsschwerpunkte sind Zukunftstechnologien für Energie und Umwelt.

KONTAKT: Staatliche Studienakademie Riesa | marko.stephan@ba-riese.de

Untersuchungen zu einer Wasseraufbereitungsanlage für die Quarantänestation einer Mähnenrobbenanlage

Laura Bryks und Marko Stephan

Zoologische Gärten stellen heutzutage eine Begegnungsstätte für Mensch und Tier dar. Oft lassen sich dort auch Aquarien für Meerestiere finden. Die Wasseraufbereitung stellt in diesem Zusammenhang eine der wichtigsten Schnittstellen zwischen Tierhaltung und Lebensqualität dar. Die Vielzahl an Möglichkeiten für die Wasseraufbereitung wirft jedoch häufig die Frage nach einem System auf, das sowohl eine effektive und wirtschaftliche Nutzung ermöglicht als auch die steigenden Anforderungen an die Wasserqualität erfüllt. Ziel dieser Arbeit ist es, durch einen Vergleich Aufschluss über das optimale System

für die Wasseraufbereitung einer Robbenanlage zu erhalten. In der Arbeit werden drei Systemvarianten vorgestellt und verglichen. Bauulich lag das Augenmerk auf Platzbedarf, Materialauswahl und Betrieb der Anlagen, während aus ökologischer Sicht das Zusammenwirken der Komponenten und die Beeinflussung des Wasserhaushalts im Vordergrund standen. Durch die abschließenden wirtschaftlichen Betrachtungen anhand einer Kostenvergleichsrechnung und einer Nutzwertanalyse konnte das vorteilhafteste System ermittelt werden.

Die Motivation für die Arbeit ergab sich aus aktuellen Projekten des Praxispartners Ingenieurbüro J. Döhler. Bearbeitet wurde das Thema in Kooperation mit dem Praxispartner im Rahmen einer Diplomarbeit.

1. Motivation

Zoologische Gärten und Tierparks stellen heutzutage eine Begegnungsstätte zwischen Mensch und Tier dar und unterscheiden sich dabei wesentlich von den Zuständen früherer Einrichtungen dieser Art. Moderne Anlagen sollen so naturgetreu, groß und dennoch so ungefährlich wie möglich gestaltet werden, um den Tieren eine Lebensqualität, angelehnt an ihre natürliche Umgebung, zu gewährleisten. Oft lassen sich dort auch Aquarien und Wasserbecken für Meerestiere finden. Aufgrund des großen Spektrums an Wasserqualitäten in den Meeren der Welt ist die Technik der Wasseraufbereitung dabei eine wichtige Schnittstelle zwischen Tierhaltung und Lebensqualität. Besonders in Verbindung mit Quarantänebereichen werden hohe Anforderungen an die technischen Systeme gestellt.

Die Vielzahl an Möglichkeiten für die Wasseraufbereitung wirft jedoch häufig die Frage nach einem System auf, das sowohl eine effektive und wirtschaftliche Nutzung ermöglicht als auch die steigenden Anforderungen an die Wasserqualität erfüllt. Dabei ist im Falle eines Quarantänebeckens auch auf das breite Spektrum von möglichen Krankheitserregern und Keimen zu achten, die sich durch die Isolation von erkrankten oder umgesiedelten Tieren im Wasser befinden können.

Ein weit verbreitetes und seit Jahrzehnten erprobtes Verfahren zur Beckenwasseraufbereitung stellt das Prinzip der Flotation mittels eines Abschäumers in Verbindung mit der Desinfektion des Wassers durch Ozon dar (Sander, M.). Im Gegensatz dazu wird seit etwas mehr als einem Jahr ein getauchtes Membransystem für eine drucklose Ultrafiltration am Markt angeboten (Zoch, R.).

In dieser Arbeit werden für ein Quarantänebecken einer Mähnenrobbeanlage in einem Tierpark mögliche Anlagenvarianten für die Wasseraufbereitung untersucht und verglichen mit dem Ziel, die optimale Variante für die Wasseraufbereitung zu finden. Dabei sind bautechnische, ökologische und wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen.

Während baulich ein Augenmerk auf den Platzbedarf, die Materialauswahl und den Betrieb der Anlagen gelegt wird,

sollen ökologisch das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten und die Beeinflussung des Wasserhaushaltes im Vordergrund stehen. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf den Veränderungen der Wasserinhaltsstoffe und ihren Auswirkungen auf die Robben. Die abschließenden Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit in Form einer Kostenvergleichsrechnung, verbunden mit einer Nutzwertanalyse sollen Aufschluss über kosten- und betriebsbedingte Vorteile der Anlagen geben und bilden einen weiteren Aspekt, um eine Gesamtbewertung kritisch darzulegen. Dadurch kann sowohl die Einsatzmöglichkeit für das betrachtete Objekt geprüft als auch ein allgemeiner Vergleich der Systeme dargestellt werden.

2. Die Robbenanlage im Bestand

Das Quarantänebecken der Robbenanlage ist für ungefähr zehn Mähnenrobbe ausgelegt und wird im Moment als Quarantäneeinheit und für die normale Tierhaltung genutzt. Die Fütterung erfolgt sowohl im Becken als auch in den Boxen. Dabei benötigt eine Mähnenrobbe bis zu 15 Kilogramm Nahrung pro Tag, die vorrangig aus kleinen Fischen besteht. Zusammen mit Kot und Urin, die im Becken verbleiben, entsteht dadurch eine Belastung des Beckenwassers mit Abfällen und Ausscheidungen.

Aktuell ist jedoch keine Anlage für die Wasseraufbereitung installiert. Ein Sand-Kies-Filter mit vorgeschalteter Pumpe funktioniert nicht so wie geplant, sodass zurzeit das verschmutzte Wasser zweimal alle sechs Wochen abgelassen werden muss, um das Becken zu reinigen und sauberes Wasser für die Tiere zur Verfügung zu stellen. Dies hat nicht nur einen enormen Anfall an Abwasser zur Folge, sondern bedeutet auch einen großen Personalaufwand. Trotzdem hält die erzielte Reinheit im Becken meist nur wenige Stunden an.

Im Rahmen von Umbauarbeiten soll nun die komplette Anlage saniert und an die moderne und zeitgemäße Tierhaltung angepasst werden. Ziel dieser Sanierungsmaßnahmen ist neben der Verbesserung der Wasser- und Lebensqualität für die Mähnenrobbe die deutliche Verringerung des Arbeits- und Personalaufwandes zur Reinigung der Anlage.

3. Untersuchung und Vergleich der Systeme

Für die neue Wasseraufbereitung werden drei Varianten untersucht:

- ▶ Abschäumer mit Ozoninjektion
- ▶ Drucklose Ultrafiltration ohne zusätzliche biologische Reinigung
- ▶ Drucklose Ultrafiltration mit vorgeschaltetem Festbettreaktor zur biologischen Reinigung

Variante 1: Abschäumer mit Ozoninjektion

Abschäumer arbeiten nach dem Prinzip der Flotation. Dabei wird Luft in Form von Gasblasen in das zu behandelnde Wasser eingeströmt. Die Schmutzpartikel heften sich an die Gasblasen und bilden eine Schaumphase, die aus dem System ausgetragen wird (AquaCare GmbH & Co. KG, 2013). Die Haftung der Partikel wird dabei von sehr vielen Faktoren beeinflusst, wie z.B. vom Strömungsbild um die Blase, von der Blasensteiggeschwindigkeit sowie von hydrophilen und hydrophoben Partikeln. Mit dem letzteren Prinzip können vor allem Eiweißverbindungen, aber auch Schmutzpartikel, Bakterien, Pilze oder Metalle aus dem Wasser entfernt werden (Sander, M.).

Durch die Injektion von dreiatomigem Ozon, das durch die hochenergetische Bestrahlung von Luft oder reinem Sauerstoff erzeugt wird, kann der Flotationsprozess unterstützt werden. Das instabile Ozonmolekül zerfällt sehr schnell und lässt reaktionsfreudigen, einatomigen Sauerstoff frei. Durch diesen werden organische und anorganische Bestandteile oxidiert. Der Vorgang blockiert somit die Stoffwechselforgänge lebender Zellen und macht Viren und Bakterien unschädlich. Am Ende des Desinfektionskreislaufes dürfen sich keine Ozonmoleküle mehr im Wasser befinden, um den Tieren durch die aggressive Wirkungsweise nicht zu schaden. Die Gefahr durch den Umgang mit Ozon sowie die zusätzlich notwendigen Vorkehrungen bilden die Nachteile dieses Systems.

Variante 2: Drucklose Ultrafiltration ohne zusätzliche biologische Reinigung

Die Ultrafiltration gehört zu den Membranverfahren und basiert auf physikalischen Trennvorgängen. Somit kommt es im Gegensatz zu Variante 1 nicht zu einer biologischen, chemischen oder thermischen Veränderung des Wassers. Mit einer maximalen Porenweite von 0,1 bis 0,01 μm können Bakterien, Viren und Kolloide sicher zurückgehalten werden (Wolf, R.).

Die drucklose Ultrafiltration stellt einen Sonderfall dar, bei dem die Membranmodule direkt in das Rohwasser getaucht werden. Durch einen kontrollierten Unterdruck auf der Permeatseite in der Größenordnung von 5 – 20 kPa wird das Rohwasser durch die Membran befördert. Aufgrund der saugseitigen Anordnung der Module bezeichnet man diese Art der Ultrafiltration als drucklos.

Hauptkomponente der Variante 2 ist das getauchte Membransystem für drucklose Ultrafiltration der Firma WTA Vogtland GmbH. Entsprechend DIN 19643-4 kann der umlaufende Volumenstrom für die Ultrafiltrationsanlage im Vergleich zu Variante 1 um 50 Prozent reduziert werden. Ziel dieses Systems ist eine optimale Wasseraufbereitung unter Verzicht auf Chemikalien. Die einzige Ausnahme bildet dabei die

Zugabe von Flockungsmitteln, um den Siebeffekt des Vorgangs und die Bindung von Huminstoffen zu verbessern. Diese chemischen Mittel haben jedoch in Verbindung mit Wasser keine gefährdenden Auswirkungen.

Variante 3: Ultrafiltration mit Biologie

Die dritte Variante basiert auf einem Membranbelebungsverfahren. Dem getauchten Membransystem zur drucklosen Ultrafiltration der Variante 2 wird dabei zusätzlich ein Festbettreaktor zur biologischen Abwasserreinigung durch aerobe Mikroorganismen vorgeschaltet.

Die mikrobiellen Vorgänge laufen im Biofilm auf dem Aufwuchsträger aus Polypropylen ab. Je mehr Schmutzstoffe sich im Wasser befinden, desto aktiver arbeiten die Mikroorganismen. Bei einem zu geringen Gehalt von Schmutzpartikeln im Rohwasser wird der Biofilm jedoch zerstört. Ebenso hemmen besonders toxische Stoffe, wie z.B. Medikamente zur Behandlung kranker Tiere, den Stoffwechsel der Mikroorganismen (Liebmann, H.).

Auch hier kann die Wirkung des Aufbereitungsverfahrens durch Flockungsmittel unterstützt werden. Neben der eigenständigen Bildung von Flocken wird ebenfalls die Flockenbildung im Festbettreaktor unterstützt. Ein Nachteil ist jedoch der große Platzbedarf des Festbettreaktors im Technikraum.

3.1. Bautechnische Untersuchungen

Der vorgesehene Technikraum besitzt mit einer geplanten Fläche von 19,30 Quadratmetern und einer Raumhöhe von lediglich 2 Metern ein sehr begrenztes Platzangebot für die technischen Komponenten. Die Integration aller Bauteile in diesen Technikraum stellt allerdings eine Grundvoraussetzung dar, um die Anlage in praxi bautechnisch realisieren zu können. Jede der drei untersuchten Varianten besitzt

Systemkomponenten	Variante 1 [m ²]	Variante 2 [m ²]	Variante 3 [m ²]
Pumpen incl. Armaturen	3 x 0,1	2 x 0,1	3 x 0,1
Schwallwasserbehälter	1,8	1,8	1,8
Seewasseransetztk	1,0	1,0	1,0
Abschäumer	0,4	–	–
Ozonerzeugung	0,3	–	–
Dosierstationen	0,3	0,6	0,6
Verdichter	0,3	0,1	0,1
Permeatbehälter	–	1,7	1,7
UV-Anlage	0,2	0,2	0,2
Behälter Biologie	–	–	2,3
Haar- und Faserfänger	2 x 0,1	0,2	0,2
Gesamtplatzbedarf	4,8	5,8	8,2

Tabelle 1: Platzbedarf der einzelnen Komponenten (Quelle: Bryks, L.)

diverse Bauteile und Apparate, die aufgrund der unterschiedlichen Volumenströme auch in ihren Abmessungen variieren. Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung des Platzbedarfs der einzelnen Komponenten aller untersuchten Varianten. Die Bauteile der Systemvarianten 1 und 2 lassen sich problemlos in den Technikraum integrieren. Keine Komponente ist dabei höher als zwei Meter und es bleibt ausreichend Platz für notwendige Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an den technischen Apparaten.

Für die Armaturen in Variante 3 ist das Platzangebot jedoch nicht ausreichend. Der Kreislauf zwischen Biologiebehälter und Schwallwassertank kann nicht zustande kommen, da der Bereich für die Kreislaufpumpe inklusive der notwendigen Armaturen nicht groß genug ist. Eine Umsetzung des Festbettreaktors ist jedoch auch nicht möglich, da das Flockungsmittel für eine ausreichende Reaktionszeit im Wasser eine Rohrlänge von mindestens 2 Metern zwischen Schmutzfängern und Biologiebehälter erforderlich macht. Des Weiteren ist durch die Anordnung des Schwallwasserbehälters der Platz für die Umgehungsleitung und die UV-Anlage sehr beengt.

3.2. Wirtschaftliche Betrachtungen

Neben den technischen Betrachtungen der drei Anlagenvarianten ist es ebenso wichtig und aufschlussreich die wirtschaftlichen Aspekte zu untersuchen. Hierzu wird die Kostenvergleichsrechnung als statisches Verfahren der Investitionsrechnung angewendet. Die Ergebnisse dieser Kostenvergleichsrechnung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Anschaffungskosten	69.998,36 €	66.723,39 €	80.119,25 €
Nutzungsdauer	12 Jahre		
Zinsfuß	3,00 % p.a.		
Kalkulatorische Abschreibungen	5.833,20 €	5.560,28 €	6.676,60 €
Kalkulatorische Zinsen	1.049,98 €	1.000,85 €	1.201,79 €
Fixe Kosten pro Periode	6.883,17 €	6.561,13 €	7.878,39 €
pH-Wert-Korrekturmittel	1.622,40 €	2.293,20 €	2.293,20 €
Flockungsmittel	-€	78,00 €	78,00 €
Instandhaltung (1,5 %)	1.049,98 €	1.000,85 €	1.201,79 €
Personalaufwand	7.020,00 €	2.070,00 €	3.150,00 €
Abwasserkosten	280,80 €	280,80 €	280,80 €
Wasserkosten	-€	-€	-€
Stromkosten	11.018,50 €	4.438,50 €	4.982,30 €
Variable Kosten pro Periode	20.991,68 €	10.161,35 €	11.986,09 €
Gesamtplatzbedarf	27.874,85 €	16.722,48 €	19.864,49 €

Tabelle 2: Zusammenstellung der Gesamtkosten pro Periode (Kalenderjahr) (Quelle: Bryks, L.)

3.3. Nutzwertanalyse

Mithilfe einer Nutzwertanalyse lassen sich mehrere Alternativeninvestitionen hinsichtlich unterschiedlicher Prioritäten für eine Entscheidung bewerten. Durch die eigenständige

Festlegung der Kriterien und Prioritäten entsteht zwar ein subjektives Entscheidungsbild; dies macht aber Sinn, da das Ergebnis der Analyse auf eine qualitativ hochwertige Wasseraufbereitung für die Mähnenrobbern abzielt und nicht unbedingt auf die preiswerteste Anlagenvariante.

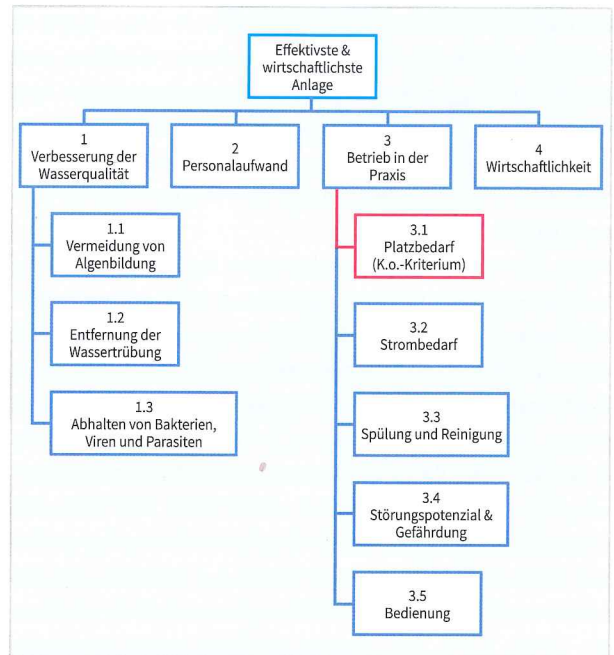


Abbildung 1 - Hierarchie der Entscheidungskriterien

Jedes Kriterium erhält entsprechend seiner Priorität eine prozentuale Wichtung und wird mit einer Bewertung von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend) versehen. Aus dieser Bewertung lassen sich die Nutzwerte der betrachteten Varianten berechnen und vergleichen. Die Kriterien für die Nutzwertanalyse sind in Abbildung 1 hierarchisch aufgelistet. Vorab sind K.o.-Kriterien, die bei Nichterfüllung direkt zum Ausschluss der betroffenen Variante führen, zu prüfen. Für die Robberanlage ist das Attribut „Platzbedarf“ ein solches Kriterium. Wenn die Systemkomponenten nicht komplett in dem dafür vorgesehenen Technikraum verstaut werden können, dann kann die Anlage nicht eingesetzt werden. Aus diesem Grund scheidet das Ultrafiltrationssystem mit Festbettreaktor (Variante 3) aus der Nutzwertanalyse aus und kommt dementsprechend auch nicht als Lösung infrage. Die Ergebnisse der Nutzwertanalyse für die verbleibenden Varianten 1 und 2 sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Es wird ersichtlich, dass die altbewährte Variante 1, bestehend aus Abschäumer und Ozoninjektion mit einem Nutzwert von 2,6 eine solide technische Lösung darstellt. Variante 2, die neue und noch relativ unbekannt drucklose Ultrafiltration ohne zusätzliche biologische Reinigung ist mit einem Nutzwert von 1,4 jedoch die deutlich bessere Alternative.

4. Fazit und Ausblick

Nach den ökologischen, bautechnischen und wirtschaftlichen Betrachtungen der drei Systemvarianten der Wasseraufbereitung sowie aufgrund des Vergleiches durch die Nutzwertanalyse ergibt sich die drucklose Ultrafiltration ohne zusätzliche biologische Reinigung (Variante 2) als beste Lösung für das untersuchte Robbenbecken. Dies liegt besonders an der sehr hohen Funktionsicherheit, dem geringen Platzbedarf, der chemikalienfreien Wasserdesinfektion und dem damit verbundenen geringen Gefährdungspotenzial. Vorteilhaft sind weiterhin die geringeren Investitions- und Betriebskosten im Vergleich zu einer Wasseraufbereitung mit Abschäumer und Ozoninjektion.

Für große Aufbereitungsmengen und bei ausreichendem Platzangebot empfiehlt es sich, das System durch die Kombination mit einem vorgeschalteten Festbettreaktor, wie in Variante 3 beschrieben, zu erweitern, um dadurch einen noch effektiveren Betrieb zu ermöglichen.

	Kriterium	Wichtung	Variante 1		Variante 2	
			Wertung	Nutzwert	Wertung	Nutzwert
1.1.	Vermeidung Algenbildung	25%	2	0,5	2	0,5
1.2.	Entfernung Wassertrübung	35%	1	0,35	1	0,35
1.3.	Abhalten von Bakterien, Viren, Parasiten	40%	1	0,4	1	0,4
1.	Verbesserung der Wasserqualität	40%	1,25	0,5	1,25	0,5
2.	Personalaufwand	25%	4	1	2	0,5
3.1.	Platzbedarf (K.-o.-Kriterium)	10%	4	0,4	1	0,1
3.2.	Energiebedarf	20%	3	0,6	1	0,2
3.3.	Spülung/Reinigung	30%	2	0,6	1	0,3
3.4.	Störungspotenzial/Gefährdung	20%	4	0,8	2	0,4
3.5.	Handhabung/Bedienung	20%	3	0,6	1	0,2
3.	Betrieb in der Praxis	20%	3	0,6	1,2	0,24
4.	Kosten	15%	3	0,45	1	0,15
	Summe Nutzwert	100%		2,6		1,4

Tabelle 3: Ergebnisse der Nutzwertanalyse (Quelle: Bryks, L.)

LITERATUR

- AquaCare GmbH & Co. KG:* AquaCareFlotor – the new generation. Hochleistungsabschäumtechnik, http://aquacare.de/download/prospekt/p-acf_2DE.pdf, (Zugriff: 05.08.2016).
- Bryks, L. (2016):* Vergleich einer Wasseraufbereitungsanlage mit Abschäumer und Ozonbeaufschlagung gegenüber einem getauchten Membransystem für drucklose Ultrafiltration, Diplomarbeit Staatliche Studienakademie Riesa.
- Liebmann, H. (1968):* Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie. Band 5, Tropfkörper und Belebungsbecken. Verlag R. Oldenbourg München und Wien, 2. Auflage.
- Sander, M. (1998):* Aquarientechnik im Süß- und Seewasser. Ulmer-Verlag Stuttgart (Hohenheim), 1. Auflage.
- Wolf, R. (2014):* Praxis der Aufbereitung von Betriebs- und Prozesswasser. Deutscher Industrieverlag München, 1. Auflage.
- Zoch, R.:* Ultrafiltration drucklos. Innovative Membran-Systeme für Wasseraufbereitung in öffentlichen Bädern. In: AB Archiv des Badewesens, Jg. 14 (2016), Nr. 3, S. 159 - 164.