

Fachhochschule Osnabrück
Fachbereich Werkstoffe und Verfahren



Aquila Wasseraufbereitungstechnik

Abschlußbericht

Projekt 1 (DBU-Aktenzeichen: 20587 Nr. 2):

Untersuchung des Filterbettes und Optimierung der Spültechnik der CAPTURA-Filteranlage zur Aufbereitung von Schwimmbadwässern

Projekt 2 (DBU-Aktenzeichen: 20587 Nr. 1):

Erprobung und Optimierung des neuartigen Captura-Filterverfahrens zur Aufbereitung von Schwimmbadwässern am Beispiel eines Sport- und Freizeitbades mit ökologischer und ökonomischer Bilanzierung der Filteranlage

Bearbeiter: Fachhochschule Osnabrück, Labor für Verfahrenstechnik
Aquila Wasseraufbereitungstechnik GmbH

Datum: 18.04.2007

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	2
2.1	Grundzüge der Schwimmbadwasseraufbereitung.....	2
2.2	Rechtliche Bestimmungen zur Badewasseraufbereitung	3
2.3	Verfahrenskombination Flockung – Filtration – Chlorung.....	4
2.3.1	Beckendurchströmung.....	4
2.3.2	Schwallwasserspeicher.....	4
2.3.3	Flockung	5
2.3.4	Filtration	6
2.3.5	Oxidation und Desinfektion	8
2.3.6	Füllwasserzusatz.....	10
2.4	Filter	11
2.4.1	Filterarten.....	11
2.4.2	Mehrschichtenfilter.....	12
2.4.3	Spülung eines Festbettfilters.....	14
2.5	Innovative Filtertechnik Captura.....	15
2.5.1	Aufbau der Captura-Filter.....	15
2.5.2	Vorteile gegenüber Drucksandfiltern.....	16
2.6	Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit	18
2.6.1	Mikrobiologische Anforderungen	18
2.6.1.1	Legionellen	18
2.6.1.2	Pseudomonas aeruginosa.....	20
2.6.1.3	Escherichia coli.....	20
2.6.1.4	Koloniebildende Einheiten (KBE).....	20
2.6.2	Hygiene-Hilfsparameter	21
2.6.2.1	Freies und gebundenes Chlor	21
2.6.2.2	pH-Wert	22
2.6.2.3	Redox-Spannung.....	23
3	PROJEKT 1: UNTERSUCHUNGEN DER STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE UND DER FILTERSPÜLUNG	24
3.1	Aufgabenstellung	24

3.2	Erstellung der Strömungsprofile	24
3.2.1	Beschreibung der Versuchsansätze	24
3.2.1.1	Druckdifferenzmessung.....	24
3.2.1.2	Flügelrad.....	26
3.2.1.3	Laser-Doppler-Anemometrie (LDA).....	26
3.2.1.4	Stoßmarkierung	27
3.2.1.5	Simulation	28
3.2.1.6	Visuelle Untersuchungen mit Kunststoffgranulat	28
3.2.1.7	Visuelle Untersuchungen mit Uranin	30
3.2.2	Strömungsuntersuchungen ohne Filtermaterial.....	30
3.2.2.1	Versuchsaufbau.....	30
3.2.2.2	Versuche mit Stoßmarkierung	34
3.2.2.3	Simulation	40
3.2.2.4	Versuche mit Kunststoffgranulat	44
3.2.2.5	Versuche mit Uranin	45
3.2.3	Strömungsuntersuchungen mit eingebettetem Filtermaterial	45
3.2.3.1	Befüllung des Filtermaterials	45
3.2.3.2	Versuche mit Stossmarkierung	47
3.2.3.3	Versuche mit Kunststoffgranulat	48
3.2.3.4	Versuche mit Uranin	50
3.2.4	Diskussion	50
3.3	Visuelle Untersuchungen der Filterspülung im Realbetrieb.....	51
3.3.1	Ziel	51
3.3.2	Filmaufnahme	51
3.3.3	Ergebnisse	53
3.3.4	Diskussion	55
3.4	Untersuchung des Captura-Filters an einer Pilotanlage mit einer genormten sowie einer reduzierten Filterbetthöhe.	56
3.4.1	Ziel	56
3.4.2	Prüfparameter.....	56
3.4.3	Probeentnahmeplan.....	58
3.4.4	Sterilisation der Materialien	60
3.4.5	Probenentnahme	61
3.4.6	Ergebnisse beim Filterbetrieb mit 100% Filterhöhe	62
3.4.7	Ergebnisse beim Filterbetrieb mit 75 % Filterbetthöhe.....	69
3.4.8	Diskussion	72

4 PROJEKT 2: ERPROBUNG DES CAPTURA-FILTERS IM NETTEBAD MIT ÖKOLOGISCHER UND ÖKONOMISCHER BILANZIERUNG DER FILTERANLAGE

75

4.1	Aufgabenstellung	75
4.2	Funktionsnachweis.....	76
4.2.1	Ziel	76
4.2.2	Versuchsanlage im Kreislauf „Aktivbecken“	76
4.2.3	Färbeversuch zur Untersuchung der Beckendurchströmung	81
4.2.4	Besucherzahlen und Überprüfung der Füllwasserzugabe	81
4.2.5	Belastungstest.....	83
4.2.5.1	Durchführung	83
4.2.5.2	Ergebnisse.....	89
4.2.6	Zusammenfassende Bewertung	97
4.3	Ermittlung der Energie- und Wasserverbrauchs einer Captura-Anlage im Vergleich zum konventionellen Drucksandfilter	99
4.3.1	Ziel	99
4.3.2	Druckfilteranlage im Schinkelbad	99
4.3.3	Filterleistung der Versuchsanlagen	103
4.3.4	Durchführung	104
4.3.4.1	Kreislauf „Aktivbecken“ im Nettebad	104
4.3.4.2	Kreislauf Warmbecken im Schinkelbad	106
4.3.5	Ergebnisse	107
4.3.5.1	Energieverbrauch	107
4.3.5.2	Füllwasserzusatz	109
4.3.5.3	Hygiene-Hilfsparameter	110
4.3.5.4	Besucherzahlen.....	114
4.3.5.5	Ergebnisse der Trübungsmessung im Aktivbecken	116
4.3.5.6	Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung	117
4.3.5.7	Trihalogenmethane und Oxidierbarkeit	119
4.3.6	Auswertung.....	120
4.3.6.1	Energieverbrauch der Captura-Filter im Aktivbecken	120
4.3.6.2	Energieverbrauch der Captura-Filter im gesamten Nettebad	123
4.3.6.3	Energieverbrauch der Druckfilteranlage im Warmbecken.....	125
4.3.6.4	Wasserverbrauch im Aktivbecken	127
4.3.6.5	Wasserverbrauch im gesamten Nettebad	130
4.3.6.6	Wasserverbrauch im Warmbecken	131
4.3.6.7	Hygiene-Hilfsparameter im Aktivbecken	134
4.3.6.8	Hygiene-Hilfsparameter im Warmbecken.....	135
4.3.6.9	Mikrobiologische Parameter	135

4.3.6.10	Trübung.....	137
4.3.6.11	Trihalogenmethane und Oxidierbarkeit.....	138
4.3.6.12	Besucherzahlen	138
4.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	140
4.4.1	Ziel	140
4.4.2	Ausschreibung	140
4.4.3	Angebotseinholung	142
4.4.3.1	Angebot Fa. Behncke.....	142
4.4.3.2	Angebot Fa. Fluidtec	145
4.4.3.3	Angebot Fa. Aquila.....	148
4.4.4	Prüfung und Wertung von Angeboten.....	149
4.4.4.1	Investitionskosten	149
4.4.4.2	Honorare der HOAI.....	151
4.4.4.3	Energiekosten.....	153
4.4.4.4	Rohstoffkosten.....	157
4.4.4.5	Abwasserkosten	158
4.4.4.6	Personalkosten.....	158
4.4.5	Kostenvergleich im Aktivbecken.....	160
4.4.6	Kostenvergleich im gesamten Nettebad.....	163
4.4.6.1	Investitionskosten	163
4.4.6.2	Energiekosten.....	164
4.4.6.3	Spülwasserverbrauch im gesamten Nettebad	169
4.4.6.4	Gesamter Kostenvergleich	170
4.4.7	Diskussion	172
4.4.8	Ausblick	174
5	ZUSAMMENFASSUNG	176
6	NOMENKLATUR	178
7	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	179
8	INDIZIERUNGSZEICHEN	179
9	LITERATURVERZEICHNIS	180
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	183
11	TABELLENVERZEICHNIS	185

12	DIAGRAMMVERZEICHNIS	187
13	ANHANG.....	189
13.1	Fließschema zum Kreislauf „Aktivbecken“	189
13.2	Ergebnisse der Spülungsuntersuchungen beim Filterbetrieb mit 100 % Filterbetthöhe	190
13.3	Ergebnisse der Spülungsuntersuchungen beim Filterbetrieb mit 75 % Filterbetthöhe	196
13.4	Aufnahme der Besucherzahlen	202
13.5	Ergebnisse des Belastungstestes	209
13.6	Ergebnisse der Versuche mit unterschiedlicher Umwälzleistung	212

1 Einleitung

Die Entwicklung auf dem Gebiet der Bädertechnik schreitet ständig voran. Die wichtigste Aufgabe einer Schwimmbadewasseraufbereitung ist ein hygienisch einwandfreies Wasser zu gewährleisten. Bei der Erfindung neuer bzw. Verbesserung bestehender Technologien stehen heute energie- und wassersparende Maßnahmen im Vordergrund. Unter diesen Aspekten entstand das neue Filtersystem Captura.

Der Captura-Filter zeichnet sich durch geringeres Bauvolumen gegenüber den konventionellen Filtern aus und verbraucht, laut Hersteller, weniger Ressourcen. Dank verbesserter Filtergeometrie, niedriger Betriebsmittelkosten und hoher Filtratqualität ist Captura die Innovation für Betreiber öffentlicher Schwimmbäder.

Die Stadtwerke Osnabrück haben bei der Neuerrichtung des Nettebads auf energie- und wassersparende Maßnahmen gesetzt und haben die Technikräume mit den umweltfreundlichen Captura-Filtern ausgerüstet. Da es allerdings noch an Betriebs erfahrung mangelte, hat die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) die Osnabrücker Bäder unterstützt und zwei Projekte in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Osnabrück ins Leben gerufen:

Projekt 1: *„Untersuchung des Filterbettes und Optimierung der Spültechnik der CAPTURA-Filteranlage zur Aufbereitung von Schwimmbadwässern“*

Projekt 2: *„Erprobung und Optimierung des neuartigen Captura-Filterverfahrens zur Aufbereitung von Schwimmbadwässern am Beispiel eines Sport- und Freizeitbades mit ökologischer und ökonomischer Bilanzierung der Filteranlage“*

Zu den Aufgaben der Fachhochschule gehörten wissenschaftliche Untersuchungen der Strömungsverhältnisse innerhalb des Filters sowie die Funktionsprüfung an einer Pilotanlage. Im Anschluss wurde das neue Verfahren auf Wirtschaftlichkeit geprüft.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Grundzüge der Schwimmbadwasseraufbereitung

Bei der Aufbereitung von Schwimmbadwasser handelt es sich um einen Kreislaufprozess. Das durch die Badenden verschmutzte Beckenwasser wird ständig entzogen und nach der Reinigung wieder in das Becken eingeleitet.

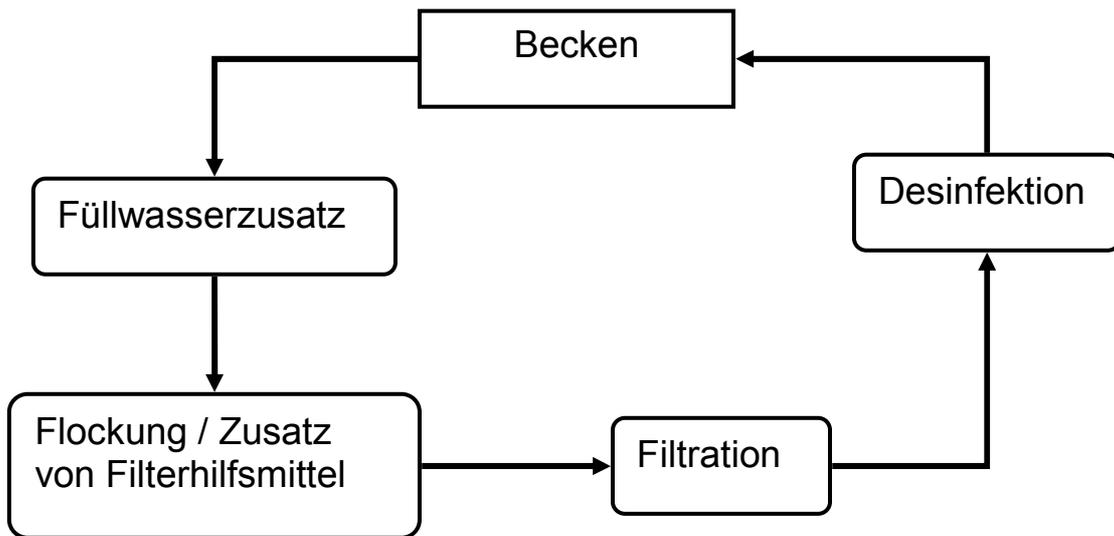


Abb. 2.1: Prinzip der Schwimmbadwasseraufbereitung

Die technische Behandlung von Schwimmbadwasser erfolgt gemäß DIN 19643. Alle Aufbereitungsmaßnahmen dienen der Erhaltung der Wasserqualität. Dies wird durch drei unterschiedliche Aufbereitungsmaßnahmen erzielt:

- Filtration
- Desinfektion
- Wassererneuerung

Versagt einer der Verfahrensschritte, können die anderen einer raschen Verschlechterung der Wasserqualität nicht Einhalt geben.

2.2 Rechtliche Bestimmungen zur Badewasseraufbereitung

Die Wasserbeschaffenheit öffentlicher Schwimmbäder unterliegt der Überwachung durch das Gesundheitsamt. Die gesetzliche Grundlage hierfür ist das Infektionsschutzgesetz (bis 2001 Bundes-Seuchengesetz genannt). Nach § 37 IfSG muss Schwimm- oder Badebeckenwasser in Gewerbebetrieben, öffentlichen Bädern sowie in sonstigen nicht ausschließlich privat genutzten Einrichtungen so beschaffen sein, dass durch seinen Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch die Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist. Für die Aufbereitung dürfen nur Mittel und Verfahren verwendet werden, die den Regeln der Technik entsprechen.

Mit welchen Anforderungen und Aufbereitungsmaßnahmen das Ziel aus § 37 IfSG erreicht werden kann, wird in der DIN 19643 „Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser“ festgelegt. Dahinter stehen Erkenntnisse über technische Möglichkeiten und wirtschaftliche Interessen der Deutschen Industrie. Die DIN 19643 fungiert als anerkannte Regel der Technik, die in den Fachkreisen akzeptiert ist und ihre Anwendung auch in europäischen Nachbarländern findet.

Die DIN-Normen haben keinen verbindlichen Charakter, sondern stellen Empfehlungen dar. Der Anwender kann bei der Beachtung der Normen darauf vertrauen, technisch richtig zu handeln.

Die erste Fassung der DIN 19643 wurde vom Arbeitsausschuss IV 13 des Normenausschusses Wasserwesen (NAW) 1984 aufgestellt. Bereits 1989 wurde die Norm überarbeitet und 1997 nochmals verschärft.

Die letzte Fassung besteht aus 5 Teilen. Der erste Teil 19643-1 enthält allgemeine Anforderungen an die Wasserqualität sowie Auslegung und Betrieb der Aufbereitungsanlage. In den Folgeteilen werden die einzelnen Verfahrenskombinationen genormt:

DIN 19643-2: Adsorption – Flockung – Filtration – Chlorung

DIN 19643-3: Flockung – Filtration – Ozonung – Sorptionsfiltration - Chlorung

DIN 19643-4: Flockung – Ozonung – Mehrschichtfiltration – Chlorung

DIN 19643-5: Flockung – Filtration – Adsorption an Aktivkohle – Chlorung

2.3 Verfahrenskombination Flockung – Filtration – Chlorung

In der Praxis wird am häufigsten eine alte Verfahrenskombination Flockung – Filtration – Chlorung verwendet. Sie umfasst nur drei Aufbereitungsschritte und erfordert den geringsten verfahrenstechnischen Aufwand für die Planung sowie den Betrieb der Anlage. In der neuen DIN-Ausgabe wird sie durch eine zusätzliche Verfahrensstufe „Adsorption an Aktivkohle“ erweitert. Damit sollen Konzentrationen an gesundheitsschädlichen Stoffen wie Trihalogenmethane und Chloramine auf ein Minimum reduziert werden.

Die in der Diplomarbeit untersuchten Filtrationsanlagen arbeiten mit der alten Kombination Flockung – Filtration – Chlorung. So werden nachfolgend einzelne Verfahrensstufen anhand dieser Verfahrenskombination beschrieben.

2.3.1 Beckendurchströmung

Zu- und Abläufe eines Schwimmbeckens werden so angeordnet, dass das aufbereitete und desinfizierte Wasser gleichmäßig alle Bereiche des Beckens erreicht und gleichzeitig das verschmutzte Beckenwasser möglichst auf kürzestem Wege abgezogen wird. Die klassische Längsdurchströmung ist heute von zwei Systemen weitgehend verdrängt worden: die horizontale und die vertikale Durchströmung [9]. Bei der horizontalen Durchströmung tritt das aufbereitete Wasser aus längsseitig angeordneten Düsen ein. Bei der Vertikaldurchströmung tritt hingegen das Wasser aus zahlreichen gleichmäßig über den Beckenboden verteilten Düsen ein.

Das verschmutzte Badebeckenwasser gelangt über den Beckenrand in die Überlaufrinne und wird als Schwallwasser bezeichnet. Die Rinne wird rings um das Becken geführt und so gestaltet, dass der Beckenrand ständig überflutet bleibt. Unbestrittener Vorteil der Überlaufrinne ist der Oberflächenreinigungseffekt.

Da allerdings eine Sedimentation von Schwebstoffen im Schwimmbecken unvermeidbar ist, muss als Maßnahme der zusätzlichen Wasserpflege eine tägliche Absaugung der Sedimente durch Bodenreinigungsgeräte erfolgen [1].

2.3.2 Schwallwasserspeicher

Zusätzlich zum umwälzenden Volumenstrom wird das Wasser von den Badenden und durch Wellen aus dem Becken verdrängt. Somit bleibt der Schwallwasserstrom nie konstant. Als Zwischenbehälter für unterschiedlich anfallende Schwallwasser-

mengen dient der Schwallwasserspeicher. Es handelt sich dabei um einen geschlossenen oder abgedeckten atmosphärischen Behälter. Hier werden Verschleppungsverluste ausgeglichen und Füllwasser zugeführt. Das Wasser aus dem Schwallwasserspeicher, welches der Aufbereitung zugeführt wird, ist in der DIN 19643 als Rohwasser definiert.

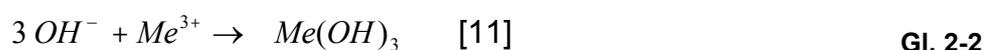
2.3.3 Flockung

In das Badewasser gelangen nicht nur grobe Verunreinigungen wie Haare, sondern auch unsichtbare feinstverteilte Kolloide, z. B. Bakterien, Keime, Körperfette einschließlich Kosmetika etc. Durch Flockung werden diese feinstkörnigen bis kolloidalen, suspendierten Partikel und ein Teil der echt gelösten Stoffe, z. B. Phosphate, in eine filtrierbare Form überführt. Die Flockungsmittel überwinden elektrostatische Abstoßungskräfte und ermöglichen die Zusammenballung (Koagulation) feinsten Partikel. Die koagulierten Substanzen werden in größere Flocken eingebunden (Flocculation) und setzen sich am Filtermaterial ab [7].

Im Rahmen der Verfahrenskombination Flockung - Filtration - Chlorung dürfen folgende Flockungsmittel dosiert werden:

- Aluminiumsulfat
- Aluminiumchloridhexahydrat
- Aluminiumhydroxidchloridsulfat
- Natriumaluminat
- Eisen(III)-chlorid-Hexahydrat
- Eisen(III)-chloridsulfat-Lösung
- Eisen(III)-sulfat [2]

Es handelt sich bei den Flockungsmitteln um Fe^{3+} - oder Al^{3+} -Salze. Die Ausfällung erfolgt nach folgender Reaktionsgleichung:



Wird die Flockung nicht sachgerecht durchgeführt, kann es zu einer Nachflockung im Becken kommen. Sie macht sich durch braune bzw. grüne Färbung und schlimmstenfalls durch eine starke Eintrübung des Wassers erkennbar.

2.3.4 Filtration

Die Filtration ist der wichtigste Verfahrensschritt bei der Aufbereitung von Schwimmbadwässern. Sie dient der mechanischen Reinigung. Die Filtration erfolgt über Schichten aus körnigem Material, wie Sand, Kies, Braunkohlekoks etc. Die ausgeflockten Verschmutzungen setzen sich auf der Oberfläche des Filtermaterials ab. Andere Schmutzstoffe werden mechanisch und adsorptiv in den Poren des Filtermaterials abgeschieden (s. Abb. 2.2). Bei der Filtrationsart handelt es sich um eine Kombination aus Oberflächen- und Tiefenfiltration, wobei die letztere überwiegt.

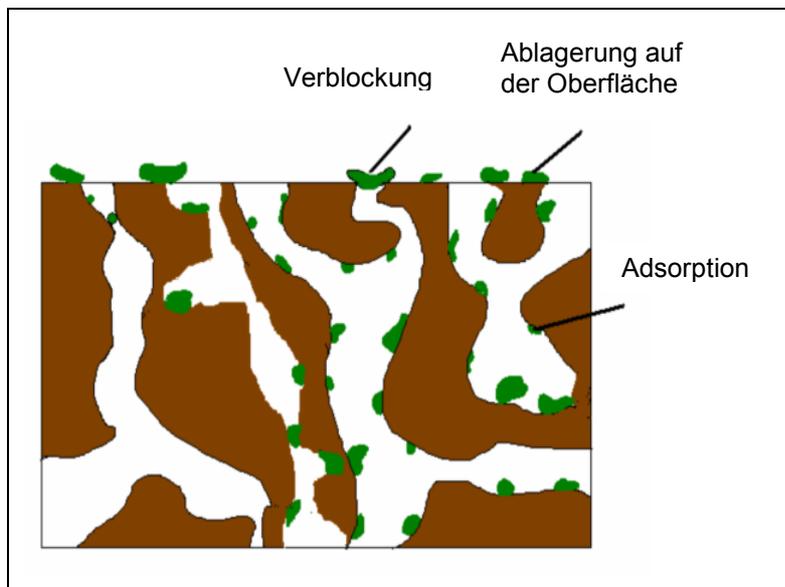


Abb. 2.2: Abtrennung der Schmutzpartikel im Filtermaterial

Tiefenfilter bieten den abzutrennenden Partikeln bei angepasster Betriebsweise eine Vielzahl von möglichen Anlagerungsstellen innerhalb des Filtermaterials an, wobei die verbleibenden Hohlräume noch gute Durchsätze ermöglichen [11].

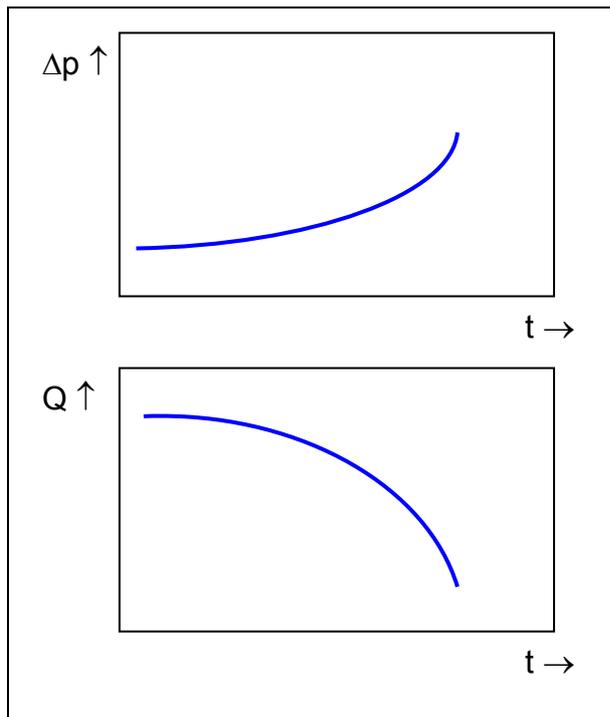


Abb. 2.3: Druckverlust und Volumenstrom des Tiefenfilters bei Verblockung

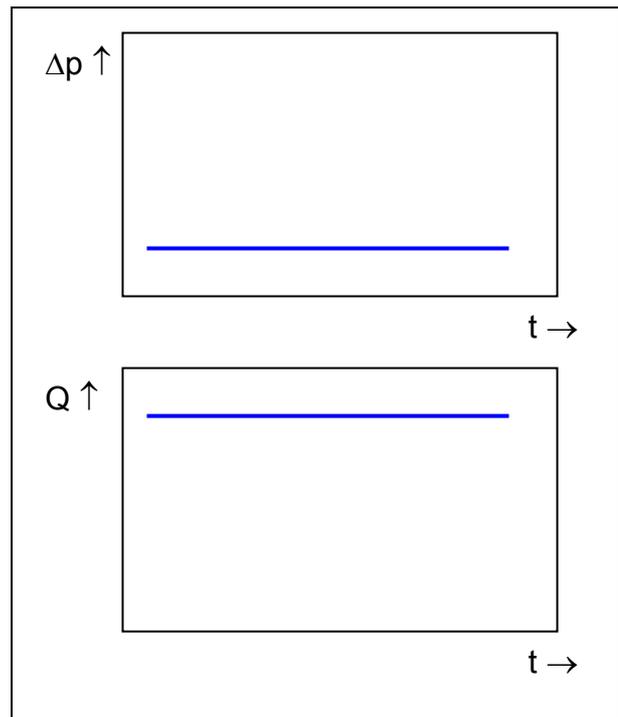


Abb. 2.4: Druckverlust und Volumenstrom des Tiefenfilters bei Adsorption

Kommt es zu einer rein mechanischen Verblockung im Inneren des Tiefenfilters, so steigt mit der Zeit t die Druckdifferenz Δp entsprechend Abb. 2.3. Die Partikel mit kleineren Abmessungen als die anströmseitigen Poren lagern sich an den adsorptiven Filtermaterialien wie Braunkohlekoks ab. Die Druckdifferenz und der Filtratvolumenstrom Q bleiben nahezu konstant (s. Abb. 2.4). Da die beiden Vorgänge im Filter parallel ablaufen, ist die zunehmende Beladung mit Feststoffen immer mit ansteigendem Druckverlust verbunden.

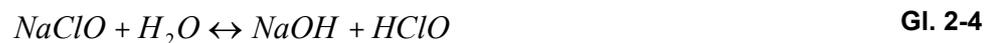
2.3.5 Oxidation und Desinfektion

Nach der physikalischen Wasseraufbereitung folgt die Entkeimung des Filtrates mit Oxidationsmitteln. Die Desinfektion dient zur raschen Abtötung der übertragbaren Krankheitserreger im Beckenwasser, so dass für die Badenden kein Infektionsrisiko entsteht. Der Gehalt an Desinfektionsmittel im Beckenwasser muss immer gewährleistet werden. So wird das Filtrat kontinuierlich im Überschuss mit Desinfektionsmittel versetzt. Die Desinfektion erfolgt durch Chlorung. In der Verfahrenskombination Flockung – Filtration – Chlorung werden zur Oxidation und Desinfektion die gleichen Mittel eingesetzt. Als Chlorungsmittel finden folgende Chemikalien ihre Verwendung:

- Chlorgas Cl_2
- Natriumhypochlorit $NaClO$
- Calciumhypochlorit $Ca(ClO)_2$

Das handelsübliche Natriumhypochlorit liegt in Form einer Lösung vor, die nur begrenzt haltbar ist. Sie kann auch am Verwendungsort durch Elektrolyse von Natriumchlorid-Lösung hergestellt werden [5]. Calciumhypochlorit liegt als Granulat oder in Tablettenform vor.

Die nachfolgenden Gleichungen zeigen die Hydrolyse der genannten Desinfektionsmittel im Wasser.



Die oxidierende Wirkung von Chlor und Chlorprodukte geht hauptsächlich von der unterchlorigen Säure $HOCl$ aus, die ihrerseits in Hypochlorit (OCl^-) und Wasserstoffionen dissoziiert:



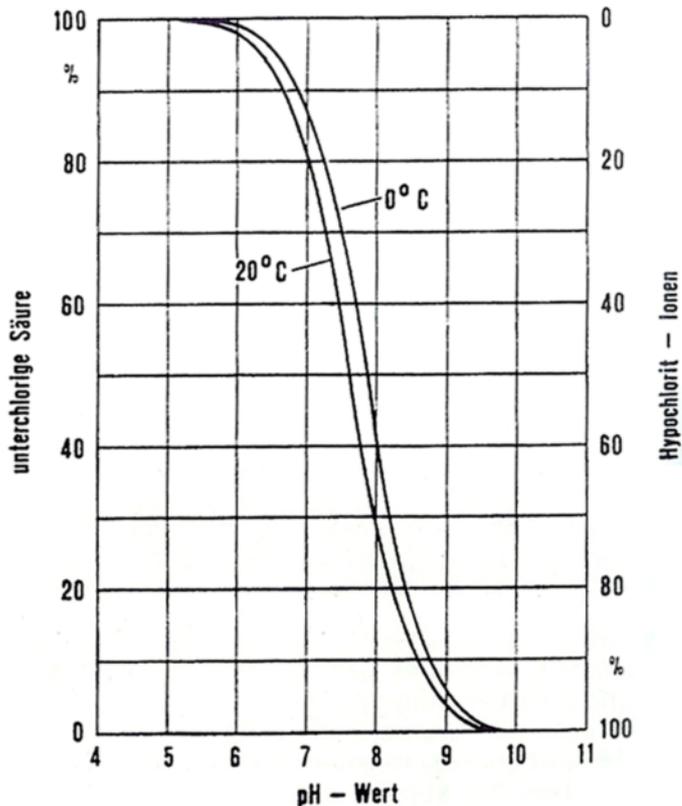


Diagramm 2.1: Anteile der unterchlorigen Säure bei verschiedenen pH-Werten [15]

Das Hypochlorit reagiert ebenfalls oxidierend. Seine Wirkung ist jedoch um ein Vielfaches geringer als bei der unterchlorigen Säure. Der Grund liegt in der für Anionen typischen schlechteren Durchdringung der Zellwände.

Bedingung für eine funktionierende Badewasserdeseinfektion ist die vorherige pH-Wert Korrektur. Der Anteil an unterchloriger Säure nimmt mit steigendem pH-Wert ab, während dementsprechend der Anteil an Hypochlorit-Ionen zunimmt (s. Diagramm 2.1).

Den Gehalt an unterchloriger Säure und Hypochloritionen gibt das sogenannte *freie Chlor* an. Die Verschmutzungen des Badebeckens enthalten Aminosäuren und Harnstoffe. Sie reagieren mit freiem Chlor zu Chloraminen, die hauptsächlich Ursache für den bekannten Hallenbadgeruch und für die unangenehmen Augenreizungen sind. Das in Form der Chloramine vorliegende Chlor wird als *gebundenes Chlor* bezeichnet.

Wenn organische Verbindungen, die durch Badegäste eingetragen werden, oder Huminstoffe des Füllwassers chloriert werden, entstehen unter anderen Trihalogenmethane (THM). Wie auch Chloramine sind die meisten Trihalogenmethane flüchtig

und belasten die Atemorgane. Die flüchtigen Verbindungen Chloroform und Bromoform gelten als kanzerogen [5].

Gebundenes Chlor und Trihalogenmethane sind unvermeidbare Nebenreaktionsprodukte der Chlorierung. Vor allem in Hallenbädern ist es schwierig die Konzentration dieser Stoffe zu minimieren. Sie können durch Filtermaterialien wie Braunkohlekoks oder Filterhilfsmittel wie Pulveraktivkohle reduziert werden. Die THM werden adsorbiert und somit auf physikalischem Wege reduziert. Die Chloramine gehen eine reine chemischkatalytische Reaktion mit den oben genannten Stoffen ein. Dies findet an der Oberfläche der Aktivkohle und Braunkohlekoks statt und wird als Chemi-Sorption bezeichnet. Das gebundene Chlor wird dabei zu Chloriden und Stickstoffverbindungen umgewandelt [5]. Eine andere Möglichkeit ist es, das gebundene Chlor sowie die organischen Präkursoren (Huminstoffe, Amine, Aminosäure) von THM und gebundenem Chlor mit Ozon zu oxidieren.

2.3.6 Füllwasserzusatz

Da mit Wasseraufbereitungsanlagen nicht alle belastenden Substanzen aus dem Badewasser entfernt werden können, müssen für jeden Badegast nach DIN 19643-1 mindestens 30 l Füllwasser zugeführt werden. Das Füllwasser ist als zur Erst- und Nachfüllung benutztes Frischwasser definiert. Zusätzlich müssen Verdunstungs- und Verschleppungsverluste (ca. 5 l/Badegast/Tag) ersetzt werden. Aufgrund dieser Zusammenhänge liegt in den meisten Bädern die pro Badegast zugeführte Füllwassermenge deutlich über 30 Litern [13].

In der Praxis ergibt sich die Wassererneuerung dadurch, dass dem Kreislauf zur Filterspülung Wasser entzogen und im Schwallwasserspeicher gegen Füllwasser ausgetauscht wird. Das Füllwasser wird aus eigener Quelle oder auch aus dem Trinkwassernetz entnommen. Es soll allgemein hygienische Trinkwasserqualität aufweisen. Falls das Füllwasser aus einem Brunnen stammt, müssen vor allem die Grenzwerte für gelöstes Eisen und Mangan kontrolliert werden. Sobald nämlich Eisen und Mangan durch Chlor oxidiert werden, fallen diese als braune bzw. braunschwarze Flocken und Niederschläge aus, die dann im Becken zu Wasserverfärbungen und Trübungen führen können [5].

2.4 Filter

2.4.1 Filterarten

In der Schwimm- und Badebeckenwasseraufbereitung werden Schnellfilter nach DIN 19605 oder Anschwemmfilter nach DIN 19624 eingesetzt.

Die DIN 19605 gilt für Schüttungsfilter, deren Füllgut aus gekörntem Material in Form eines Festbettes vorliegt. Nach der Bauweise unterscheidet man offene und geschlossene Systeme. Die offenen Filter sind nicht allseitig geschlossen und stehen mit der Atmosphäre in direkter, nicht absperrbarer Verbindung. Die geschlossene Ausführung hat dagegen absperrbare Be- und Entlüftungen. Diese Bauweise wird ausführlich im Kapitel 2.4.2 beschrieben. Das Filterbett eines offenen Schnellfilters hat eine geringere Höhe und wird infolge des Überstaus durchströmt, während bei dem geschlossenen Schnellfilter die Durchströmung mit Pumpendruck erzwungen wird [5]. Heute sind hauptsächlich geschlossene Schnellfilter verbreitet. Sie erreichen viel höhere Filtergeschwindigkeiten als bei offenen Filtersystemen.

Hinsichtlich des Schüttungsaufbaus wird noch in Ein- und Mehrschichtfilter unterteilt. Die Einschichtfilter verfügen über ein einheitliches Filterbett mit einheitlicher Körnung. Sie waren in der Schnellfiltration bis etwa 1957 üblich. Danach setzten sich Zweischichtfilter mit wesentlich besseren Abscheideleistungen und Betriebseigenschaften durch [12]. In den Mehrschichtfiltern sind zwei oder mehrere Filtermaterialien mit unterschiedlicher Körnung übereinander geschüttet [3]. Das Filterbett wird von der groben zur feineren Körnung durchfahren, so dass die Porenweite in der Strömungsrichtung gestuft abnimmt.

Zu einer besonderen Filterart, zumindest in Deutschland, gehören die Anschwemmfilter. Sie arbeiten nach dem Prinzip der Anschwemmung von Filterhilfsmitteln. Die Hilfsmittel, meist Kieselgur, aber auch Perlite, werden allein oder in Kombination mit Pulver-Aktivkohle auf die Oberfläche eines Trägers angeschwemmt. Das feine, poröse Material bildet auf den Filterelementen mit der Pulver-Aktivkohle dünne Filterschichten, die sich über Druck bzw. Vakuum aufbauen. Die Abtrennung der Partikel erfolgt dann im Inneren des vorangeschwemmten Filterkuchens als Tiefenfiltration. Sie sind in den Schwimmbädern nur noch selten zu finden, eher in der Brauerei- und Getränkeindustrie. Das bisher in Anwendung befindliche Kieselgur steht im Verdacht

krebserregend zu sein. Daher wird von Verbraucherseite entsprechender Druck auf die Hersteller ausgeübt [18].

2.4.2 Mehrschichtenfilter

Die geschlossenen Mehrschichtenfilter sind heute das gängige Filtersystem in Schwimmbädern. Im Fachjargon werden sie auch als Drucksandfilter bezeichnet. Wie der Name schon sagt, besteht der Filterinhalt aus einem speziell für diesen Anwendungszweck geeigneten Sand bzw. Kies und adsorbierenden Materialien. Das Prinzip ist eine Kombination von Raum- und Oberflächenfiltration. Sand- und Mehrschichtfilter müssen in regelmäßigen Abständen rückgespült werden, um die Funktionsfähigkeit zu erhalten.

Es handelt sich um stehende zylindrische Druckbehälter mit gewölbten Böden. Der Aufbau ist in Abb. 2.5 dargestellt.

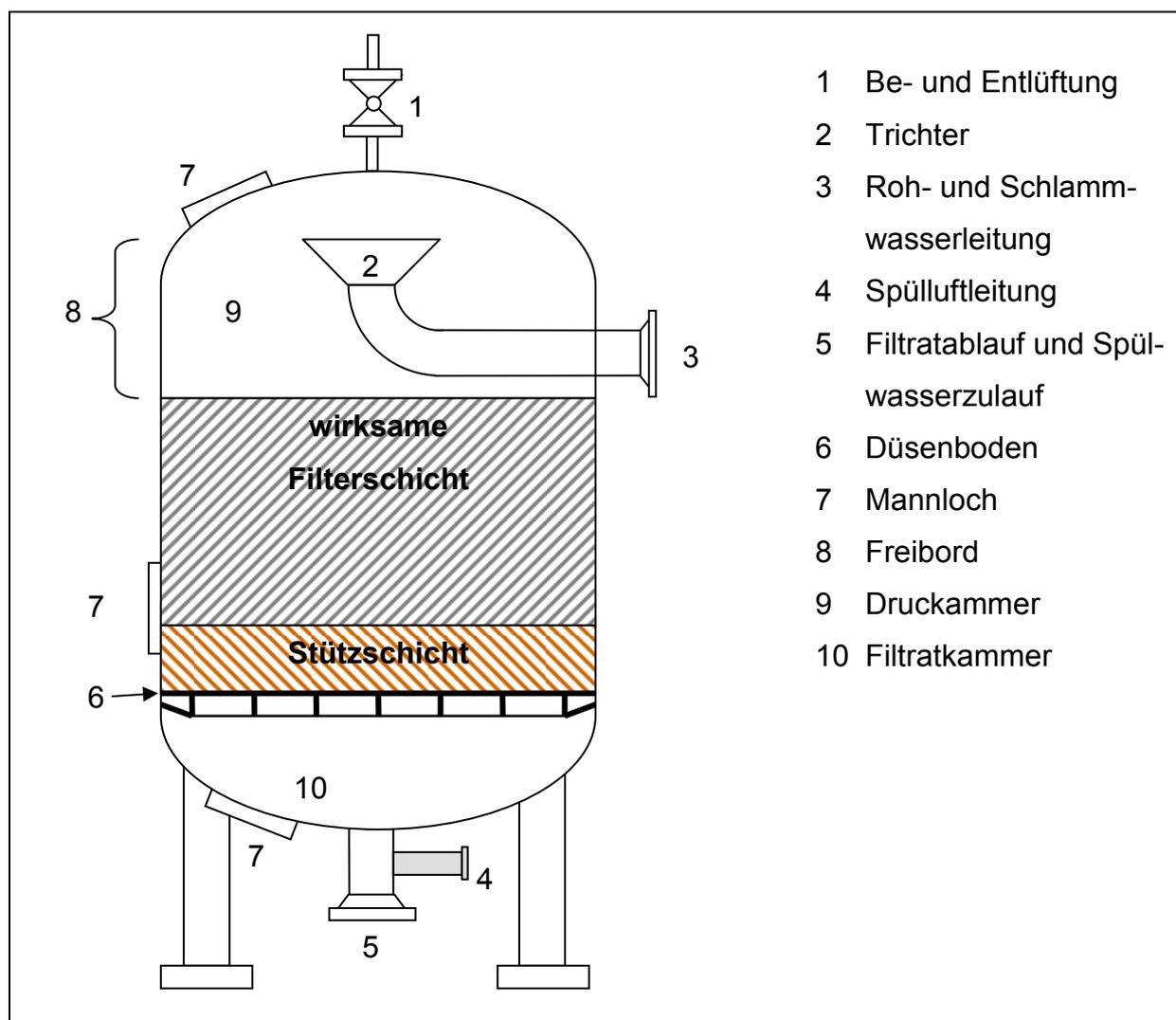


Abb. 2.5: Aufbau eines Drucksandfilters

Der Filter wird über einen Trichter (2), der sich im Inneren des Behälters befindet, beschickt. Der Rohwasser-Zulauf erfolgt seitlich. Die komplette Filterkammer (9) wird dabei unter Druck gesetzt. Während der Filtration kann es zu Gasansammlungen kommen. Es bilden sich Luftpolster in der Rohwasserkammer. Ab einem gewissen Volumen und Überdruck dringt die entstandene Gasblase durch das Filterbett. Das Filterbett bricht folglich zusammen und wird in die Filtratleitung ausgeschwemmt. Zur Vermeidung von Gasansammlungen und Filterdurchbruch sind die Filter nach DIN 19605 mit automatischen Entlüftungsvorrichtungen (1) zu versehen. Diese werden am Deckel angebracht. Der Freibord (8) kennzeichnet den Abstand der Oberfläche des Filtermaterials bis zur Oberkante des Trichters. Erforderlich ist ein Freibord von mindestens 25 % der Schichthöhe zuzüglich 0,2 m, damit bei der Filterspülung das Filtermaterial nicht ausgetragen wird [2].

Der Freibord kennzeichnet den Abstand der Oberfläche des Filtermaterials bis zur Oberkante des Trichters. Erforderlich ist ein Freibord von mindestens 25 % der Schichthöhe zuzüglich 0,2 m, damit bei der Filterspülung das Filtermaterial nicht ausgetragen wird [2].

Die Schichthöhen für geschlossene Bauweisen werden aus Tabelle 2 der DIN 19643-2 entnommen:

Schichthöhe (Sand) \geq 0,6 m

Obere Materialschicht \geq 0,6 m

Als Filtermaterial eines Mehrschichtenfilters werden Braunkohlekoks, Bims, Braunkohlekoks, Pech- oder Petrol, Filtersande und Filterkiese, verwendet.

Die leichtere poröse Schicht lagert obenauf und nimmt die Hauptmenge der Trübstoffe auf. Die feinsten Teilchen werden dann in den Sandschichten ebenfalls durch Anlagerung bzw. Adsorption zurückgehalten.

Zu den genannten wirksamen Filterschichten kommt noch eine Stützschiicht hinzu. Sie hat die Aufgabe, das Eindringen von Filtermaterial in die Öffnungen der Filterdüsen zu vermeiden und trägt zusätzlich zur besseren Verteilung des Spülwassers bei. Üblicherweise wird die Stützschiicht mit einer Stärke von 30 cm ausgeführt. [5] Im Filterboden sind über die gesamte Fläche Düsen (mind. 60 Stück/m²) verteilt. Sie gewährleisten einen gleichmäßigen Abfluss des Filtrates und bei der Spülung eine gleichmäßige Luft- und Wasserverteilung.

Die Filtrat- und Spülwasserleitung besitzen am Klörperboden einen gemeinsamen Anschluss.

2.4.3 Spülung eines Festbettfilters

Eine langfristige Funktionsfähigkeit eines Festbettfilters setzt erfolgreich durchgeführte Spülung voraus. Sie soll das Filtermaterial regenerieren, in dem der abgelagerte Flockenschlamm ausgewaschen wird. Nach der DIN 19643 müssen Filter zweimal in der Woche gespült werden.

Dafür wird der Filtrationskreislauf durch die Absperrarmaturen unterbrochen. Der Filterbehälter wird belüftet und der Wasserspiegel bis ca. 20 cm über das Filterbett abgesenkt. Als Spülmedien stehen Wasser und Luft zur Verfügung. Die Spülung erfolgt im Aufwärtsstrom.

Der erste Schritt ist ein Auflockern und Fluidisieren des Filterbettes mit Spülluft. Sie wird mit einem Verdichter durch die Düsen hindurchgepresst. Durch die Luftspülung wird das Filtermaterial durch Reibung beansprucht und führt dazu, dass sich die Schmutzpartikel von den Körnern ablösen. Die Luftgeschwindigkeit beträgt ca. 60 m/h. Dabei dehnt sich das Filterbett um ca. 10 % aus. Die Luft verdrängt einen Teil des im Filterbett noch vorhandenen Wassers, so schäumt es nach Durchbrechen gleichmäßig über die gesamte Filteroberfläche. Das über dem Filterbett befindliche Wasser reichert sich dabei erheblich mit Schmutzstoffen an.

In der nächsten Phase setzt die Wasserspülung mit einer Geschwindigkeit von ca. 60 bis 65 m/h ein. Die Schmutzstoffe werden zusammen mit Wasser nach oben ausgetragen und über den Trichter abgeleitet. Außerdem wird die im Filter verbliebene Luft aus dem Filtermaterial wieder entfernt.

Anschließend erfolgt eine Klarfiltration bzw. Klarspülung. Das Erstfiltrat darf nicht ins Becken eingespeist werden und wird meist in den Kanal abgeführt.

Der Spülvorgang kann manuell oder automatisch ausgelöst werden. Die Schaltung richtet sich nach festgelegten Zeitintervallen, wenn nicht der Filterwiderstandsanstieg schon früher die Notwendigkeit einer Spülung anzeigt.

Die Spülung ist gemäß den Betriebsanweisungen des Herstellers durchzuführen. Besonders wichtig ist die Einhaltung der vorgeschriebenen Spülwassergeschwindigkeit und der Spüldauer. Nur dann ist sichergestellt, dass die angesammelten Schmutzteilchen weitestgehend entfernt werden und somit die Entstehung von Schlammnestern in dem Filterbett unterbunden bleibt, die oft Ursache für eine starke Verkeimung des Filtrates sind.

2.5 Innovative Filbertechnik Captura

2.5.1 Aufbau der Captura-Filter

Von den bewährten Drucksandfiltern unterscheiden sich die Captura-Filter lediglich durch ihre Geometrie. Das technische Grundprinzip ist gleich geblieben. Der prinzipielle Aufbau wird in Abb. 2.6 wiedergegeben.

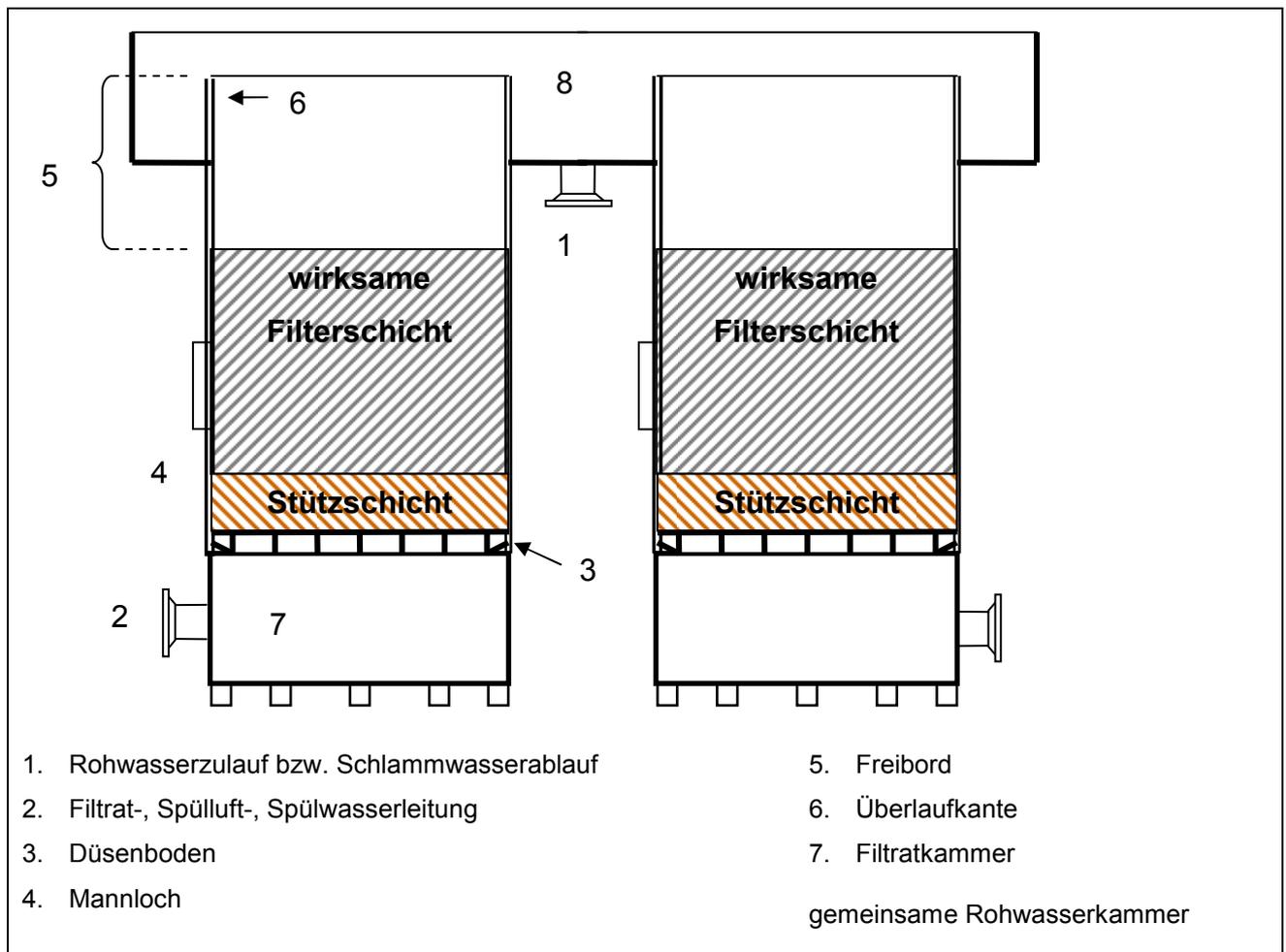


Abb. 2.6: Aufbau eines Filtermoduls Captura

Es handelt sich um rechteckige Filterbehälter, die zu einem Modul zusammengebaut werden können. Captura-Filter werden mit Standardabmessungen ausgeführt (s. Tabelle 2.1). Es gibt zwei gängige Variante mit einer Filterfläche von 1 m² oder 2 m² ausgeführt. Die Filterhöhe beträgt bei allen Ausführungen 2,3 m. Oberhalb der Filter muss ein Raum von 60 cm von den Installationen frei gehalten werden, so dass die erforderliche Raumhöhe sich dann auf 2,9 m beläuft.

Das Rohwasser wird einer gemeinsamen Zulaufkammer (8) zugeführt. Dort verteilt es sich gleichmäßig, steigt auf und überströmt den Mantelkragen (6).

Tabelle 2.1: Standardabmessungen der Captura-Filter

Höhe	2,3 m	
Tiefe	2,32 m	
Breite	1,13 m	1,80 m
Fläche	1 m ²	2 m ²

Die Zulaufkammer ist durch einen lose aufliegenden Deckel abgedeckt, so dass eine direkte Verbindung zur Atmosphäre besteht. Die Filtration erfolgt nicht nur alleine aus gegebenen geodätischen Höhenunterschieden, sondern wird durch eine ansaugende Pumpe unterstützt. Der Spülvorgang erfolgt auf die gleiche Weise wie bei den Druckfiltern. Das anfallende Schlammwasser läuft über die Filterkante in die gemeinsame Zulaufkammer ab und wird von dort über den Stutzen (1) abgeleitet.

2.5.2 Vorteile gegenüber Drucksandfiltern

Durch eine optimierte Filtergeometrie ergeben sich bei Captura gleich mehrere Vorteile. Bei rechteckiger Bauweise können die Filter zu kompakten Modulen zusammengestellt werden. Damit kann Fläche gegenüber den Drucksandfiltern gespart werden [19]. Viel größere Ersparnisse ergeben sich in der Höhe. Die Captura-Filter werden mit einer Standardhöhe von 2,3 m gebaut. Die Raumhöhe eines Drucksandfilters steigt mit dem Durchmesser und kann bis zu 5 m betragen. Durch Raumeinsparung lassen sich Kosten im Neubau deutlich senken. Beim Ausbau bestehender Anlagen ist zumeist nicht einmal die Erweiterung der Technikräume notwendig.

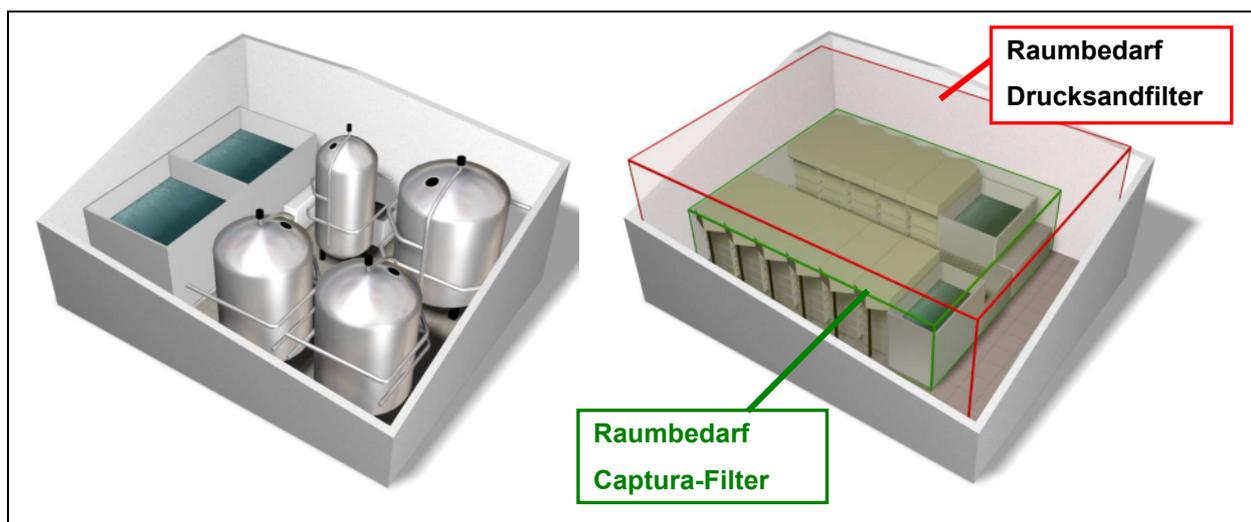


Abb. 2.7: Raumspareffekt der Captura-Filter [22]

Außerdem ist der Transport kleinerer Captura-Filter einfacher zu bewerkstelligen als bei großvolumigen Filterkesseln, die oftmals mit Sonderfahrzeugen geliefert werden müssen.

Während Druckfilter meistens das Wasser mehrerer Becken aufbereiten, erlaubt Captura einen dezentralen Einbau. Für jeden Beckenkreislauf werden die erforderlichen Filtermodule so zusammengestellt, dass die Wasseraufbereitung jeweils der individuellen Becken- und Nutzungsart angepasst werden kann.

Das eindruckvollste Ergebnis der neuen Konstruktion ist, dass es keine Filterbettverwerfungen beim Captura gibt. Die Ablaufkante ist viel größer als bei dem Trichter eines Druckfilters. Der Überlauf erfolgt über den überstehenden Filterkragen und sorgt für eine gleichmäßigere Strömung. Bei einer gleichmäßig verteilten Strömung wird die Filtratqualität entsprechend höher. Verunreinigungen werden vollständig ausgeschwemmt. Dadurch kann mit weniger Spülwasser ein gleicher, wenn nicht besserer Reinigungseffekt als bei einem Druckfilter erzielt werden [19].

In einem Modul werden die Filter einer nach dem anderen gespült. Die Wassermenge im Wasserspeicher soll für die Spülung eines Filters ausreichen. Die Fläche eines Druckfilters entspricht je nach Anlagengröße mehreren Captura-Filtern und erfordert mehr Spülwasser. Durch die Modulbauweise und den geringeren spezifischen Spülwasserverbrauch ergibt sich somit ein kleinerer Spülwasserspeicher (s. Abb. 2.7).

Die Filtratpumpen einer Captura-Anlage sind mit Frequenzumrichter ausgestattet. Wenn das Filtermaterial verschmutzt und der Druckverlust ansteigt, wird die Drehzahl entsprechend nachgeregelt. Damit ist gewährleistet, dass unabhängig vom Verschmutzungsgrad die Umwälzleistung und somit die Filtergeschwindigkeit immer gleich bleiben.

Die Captura-Filter arbeiten im Saugbetrieb. In der Rohwasserkammer herrscht der Umgebungsdruck. Die Förderhöhe ergibt sich, abgesehen von den geodätischen Höhenunterschieden, aus den hydraulischen Verlusten in der Rohrleitung und des Widerstands des Filtermaterials. Drucksandfilter sind außerdem mit Entlüftungsventilen ausgestattet. Bei den gängigsten Fabrikanten, wie zum Beispiel Fa. Mankenberg, arbeiten die Entlüfter mit einem Gegendruck von 1 bar [19]. Somit hat die Umwälzpumpe eine zusätzliche Förderhöhe von ca. 10 m zu erbringen. Bei geschlossenen Druckfiltern resultiert sich damit ein höherer Stromverbrauch.

2.6 Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit

2.6.1 Mikrobiologische Anforderungen

Die mikrobiologischen Anforderungen an das Schwimm- und Badebeckenwasser sollen eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, vorbeugen. Im Reinwasser und Beckenwasser dürfen folgende Bakterien nicht nachweisbar sein:

- Legionella pneumophila
- Pseudomonas aeruginosa
- Escherichia coli

Von den anderen koloniebildenden Einheiten dürfen bei 20°C und 36 °C im Beckenwasser höchstens 100/ml und im Reinwasser höchstens 20/ml vorhanden sein.

2.6.1.1 Legionellen

Legionellen sind aerobe, gramnegative, nicht sporenbildende, bewegliche Stäbchenbakterien mit einer durchschnittlichen Länge von 2 – 5 µm und einem Durchmesser von 0,5 – 0,8 µm. Diese ubiquitären Außenweltkeime kommen in Oberflächenwässern, Meerwasser und in geringer Anzahl (meist < 1 KBE/Liter) im Grundwasser vor. Daher ist es selbstverständlich, dass sich in dem von den Wasserwerken gelieferten Wasser Legionellen befinden können [10]. Aufgrund ihrer weltweiten natürlichen Verbreitung werden sie oft in Kühltürmen, Kalt- und Warmwasserleitungen (Brauseköpfe, Wasserhähne) sowie in Klimaanlageanlagen nachgewiesen.

Legionellen verursachen die sog. Legionellose (Legionärskrankheit). Es handelt sich um eine typische Lungenentzündung. Die Inkubationszeit beträgt 2 -10 Tage, in seltenen Fällen bis zu zwei Wochen. Im Vordergrund steht bei der Legionellose die Lungensymptomatik, begleitet von Muskel- sowie Kopfschmerzen, Schweißausbrüchen, trockenem Husten und eventuell Diarrhoen. Eine andere mildere Form der Erkrankung mit Fieber, Kopf- und Muskelschmerzen ist das sogenannte Pontiac Fieber.

Prinzipiell ist jeder gefährdet, doch kommt es zu einer manifesten Krankheit vor allem bei Personen mit geschwächtem Immunsystem wie älteren Menschen, Diabetikern sowie auch Rauchern nach Aufnahme großer Keimmengen.

Zur Infektion kann es durch Einatmen erregerehaltiger, lungengängiger Aerosole beim Zerstäuben von infiziertem Wasser kommen. Somit stellen insbesondere die Du-

schen aber auch Aerosole am Wasserhahn Gefahrenquellen dar. Im direkten Schwimmbeckenbereich spielen neben Whirlpools auch sonstige mit einer Wasser- versprühung oder Verrieselung versehenen Anlagen wie künstliche Wasserfälle, Fontänen und auch Rutschen eine Rolle. Eine direkte Übertragung von Mensch zu Mensch ist bisher nicht beobachtet worden.

In Deutschland erkranken jährlich rund 6000 - 7000 Menschen an einer Legionella- Infektion, von denen rund 1000 - 2000 daran sterben, obwohl der Erreger keine Viru- lenz besitzt [7].

Beim weitaus häufiger vorkommenden Pontiac-Fieber handelt es sich um eine fiebri- ge, grippeähnliche Erkrankung mit einer Inkubationszeit von bis zu zwei Tagen, die meist ohne Lungenbeteiligung binnen weniger Tage abheilt. In Deutschland schätzt man, dass jährlich mindestens 1.000.000 Erkrankungen vorkommen [10].

Ein entscheidender Faktor für die Legionellenvermehrung sind die Temperaturbedin- gungen. Bis zu 20°C verdoppeln sich die Legionellen nur sehr langsam, so dass in diesem Bereich schon anzahlmäßig kein nennenswertes Erkrankungsrisiko besteht. Erst über 20°C steigt die Vermehrungsrate an. Die optimalen Wachstumsbedingun- gen sind bei 30°C - 45°C gegeben. Ab etwa 50°C erfolgt meist kaum noch Vermeh- rung und bei etwa 55°C ist diese nicht mehr möglich und es kommt langsam zum Absterben.

Legionellen werden hauptsächlich in den Ablagerungen und Belägen, den sogenann- ten Biofilmen, gefunden. Dort vermehren sie sich intrazellulär in den Amöben und werden unter bestimmten Bedingungen bis zu tausenden aus dem Biofilm wieder abgegeben. Daher besteht die Gefahr einer Verkeimung in den Totzonen, Stellen die nicht ausreichend durchströmt werden.

Zur Abtötung der Legionellen durch Chlorung sind Konzentrationen von 1,5 bis 4,5 mg/l freies Chlor notwendig [7]. In den Biofilmen sind sie nur schwer zu bekämp- fen. Die Keime in Inkrustierungen werden nämlich durch Chlor nicht beeinträchtigt. Die Amöbenzysten sind hoch resistent gegen Chlor. Legionellen, die in Amöbenzys- ten eingeschlossen sind, sind gegen bis zu 50 mg Chlor/l geschützt [12].

Weitere Maßnahmen zur Eliminierung von Legionellen sind Thermische Desinfektion über 60°C oder Behandlung mit einer starken Lauge. Beide Verfahren sind mit er- höhtem technischen Aufwand und Sicherheitsmaßnahmen verbunden. Ob die jewei-

lige Sanierungsmaßnahme erfolgreich funktioniert, ist von Fall zu Fall unterschiedlich. Wichtig ist, dass alle Wuchsbeläge entfernt werden.

2.6.1.2 *Pseudomonas aeruginosa*

Bei *Pseudomonas aeruginosa* handelt es sich um einen seit langem bekannten opportunistischen Erreger, der selbst in destilliertem Wasser leben kann, also über vielfältige Lebensmöglichkeiten verfügt. Diese Keimart kommt in geringer Zahl in der Darmflora vor. Sie verursacht die sogenannte Badedermatitis, sporadische Harnwegsinfektionen und insbesondere die recht häufigen Außenohrinfektionen [5].

Untersuchungen ergaben, dass *Pseudomonas aeruginosa* relativ selten in Brunnenwasser, dagegen häufiger in Leitungs-, Container-, Mineral-, Tafel- und Schwimmbadwasser enthalten ist [7]. Besonders stark vermehren sich diese Bakterien in den Filtern für die Wasseraufbereitung. Während die Legionellen auf Vorhandensein von Biofilmen und sich darin befindenden Amöben angewiesen sind, können die Pseudomonaden auf vielen Materialien selbst wachsen und somit selbst Biofilme aufbauen. Diese Biofilme sind weniger resistent gegen Chlorungsmittel. Zur Sanierung von starken Verkeimungen werden die gleichen Maßnahmen wie bei Legionellen durchgeführt.

Eine Korrelation zur Koloniezahl von *Escherichia coli* und coliformen Keimen besteht nicht. Deshalb wird die Koloniezahl von *Pseudomonas aeruginosa* bei der mikrobiologischen Untersuchung getrennt bestimmt.

2.6.1.3 *Escherichia coli*

E. coli ist ein Vertreter der thermotoleranten coliformen Bakterien. Sie kommt im menschlichen Darm vor. *Escherichia coli* im Wasser gilt als sicherer Indikator für eine fäkale Kontamination. Im Vergleich zu anderen Krankheitserregern ist *E. coli* sehr empfindlich gegen Chlor und wird bei der Desinfektion vollständig eliminiert.

2.6.1.4 Koloniebildende Einheiten (KBE)

Einen Überblick über allgemeine mikrobiologische Belastungen des Beckenwassers gibt die Kolonienzahl wieder. Bei der Untersuchung auf koloniebildende Einheiten wird 1 ml Wasser auf einem Nährboden ausplattiert und bei der Temperatur von 20°C und 36 °C meist 1 Tag bebrütet. Die gewachsene Kolonienzahl ist somit eine Frühwarnung für das Auftreten von Krankheitserregern im Beckenwasser. Die erhöh-

ten Werte an KBE weisen auf eine unzulängliche Betriebsweise der Aufbereitungsanlage, insbesondere der Filter, oder eine langfristige Überlastung durch Badegäste wieder [5].

2.6.2 Hygiene-Hilfsparameter

Zu den Hygiene-Hilfsparametern gehören der Gehalt an freiem Chlor, der pH-Wert und die Redox-Spannung. Sie erlauben eine Aussage über den hygienischen Zustand eines Beckenwassers.

Alle mikrobiologischen Untersuchungen geben die Wasserqualität zum Zeitpunkt der Probenahme wieder. Seit der letzten bis zur nächsten Probenahme kann sich der Betriebszustand innerhalb von Stunden oder Tagen ändern. Die Keimfreiheit im Beckenwasser soll jedoch während der gesamten Betriebszeit gewährleistet sein. Deshalb empfiehlt es sich, kontinuierlich chemische Hygiene-Hilfsparameter aufzuzeichnen.

2.6.2.1 Freies und gebundenes Chlor

Zur betriebseigenen Überwachung gehört die Bestimmung des freien und gebundenen Chlors. Diese Parameter werden bereits in Kapitel 0 beschrieben.

Der Gehalt an freiem Chlor gibt zu erkennen, ob im Becken noch ausreichend an Desinfektionsmittel vorhanden ist. Seine Konzentration im Beckenwasser (außer im Warmsprudelbecken) ist in der DIN 19643 auf 0,3 - 0,6 mg/l festgesetzt. Der hinreichend große Bereich berücksichtigt damit die Trägheit der Regelung für die Chlordosierung. Der Sollwert ist dabei auf 0,4 mg/l einzustellen.

Reagiert das freie Chlor mit anorganischen und organischen Aminen, wird als Reaktionsprodukt das gebundene Chlor (Chloramine) gebildet. „Die anorganischen Chloramine entstehen in Schwimm- und Badebeckenwasser überwiegend aus Harnstoff, der mit Urin und Schweiß in das Wasser gelangt, und die organischen Amine aus Aminosäuren, dem Hydrolyseprodukt der kondensierten Aminosäuren der menschlichen Haut und sonstiger Ausscheidungen“ [5]. Chloramine sind leicht flüchtig. Sie belasten die Atemorgane und führen zu Augenreizungen. Die DIN 19643 schreibt den Höchstgehalt an gebundenem Chlor von 0,2 mg/l vor.

2.6.2.2 pH-Wert

Der pH-Wert eines Wassers ist als negativer dekadischer Logarithmus der Aktivität (wirksame Konzentration) von Oxoniumionen H_3O^+ definiert [21].

In der DIN 19643-1 ist für den pH-Wert des Beckenwassers ein Bereich von 6,5 – 7,6 vorgeschrieben. Seine Einhaltung ist unerlässlich, um einerseits die verschiedenen Aufbereitungsmaßnahmen optimal durchführen zu können und andererseits gilt dieser Bereich als hautverträglich. Bei pH-Werten über 7,6 ist bei langem Aufenthalt im Wasser ein Quellen der Haut, besonders an Fingern und Zehen, zu beobachten. Dieser Effekt ist zusätzlich von der Konzentration an Hydrogencarbonat- und Carbonationen abhängig [5].

Für eine ausreichende Desinfektion des Systems Hypochlorit / unterchlorige Säure ist ebenfalls der pH-Wert entscheidend. Mit steigendem pH-Wert verschiebt sich das Gleichgewicht auf die Seite des Hypochloritons, deren mikroicide Wirkung nur noch ca. 1 - 2 % derjenigen der unterchlorigen Säure ist (s. Diagramm 2.1). Unterhalb des Grenzwertes von 6,5 ist die Einstellung des pH-Wertes im Kohlenstoffdioxid-Hydrogencarbonat-Puffersystem wegen der Verluste an Kohlenstoffdioxid im Becken schwieriger.

Zur pH-Wert Einstellung dürfen nach DIN 19643 folgende Mittel dosiert werden:

- Natronlauge
- Natriumcarbonat (Soda)
- Natriumhydrogencarbonat
- Natriumhydrogensulfat
- Salzsäure
- Schwefelsäure
- Kohlenstoffdioxid [3]

2.6.2.3 Redox-Spannung

Die Redox-Spannung ist ein Maß für Reduktions- bzw. Oxidationsvermögen des Wassers. Sie wird als elektrische Spannung einer Normal-Wasserstoffelektrode gegenüber dem Beckenwasser gemessen [15]. Bei negativer Spannung überwiegen die Reduktionsmittel, bei positiver die Oxidationsmittel. Im Schwimmbadwasser ist sie abhängig vom Konzentrationsverhältnis des Desinfektionsmittels zu organischen Verunreinigungen. Wird das Desinfektionsmittel verbraucht und nicht genügend nachgeführt, verschiebt sich die Redox-Spannung zu kleineren Werten. Zu hohen Werten kommt es infolge einer Überdosierung von Desinfektionsmittel oder bei unbelastetem Beckenwasser. Somit ist die Redox-Spannung ein zuverlässiges Indiz einer verfügbaren Konzentration an dem wirksamen gebundenen und freien Chlor. Sie ermöglicht eine einfache Kontrolle der Wasserqualität. Die Redox-Spannung ist temperaturabhängig und kann sich mit dem pH-Wert ändern. In der DIN 19643 wird nur der untere Wert von 750 mV für Reinwasser und 770 mV für Beckenwasser angegeben.

3 Projekt 1: Untersuchungen der Strömungsverhältnisse und der Filterspülung

3.1 Aufgabenstellung

Vor dem Einsatz der Captura-Filter im Nettebad wurde die Spülung eines Captura-Filters im Labor für Verfahrenstechnik der FH-Osnabrück erprobt und bewertet. Das Ziel war die möglichen Problemzonen bei der Durchströmung zu erkennen, und wenn nötig die Spültechnik zu optimieren. Hierzu sollten mit geeigneten Messmethoden Strömungsprofile erstellt werden. Anschließend wurden die ersten Praxiserfahrungen mit einer Pilotanlage im Schinkelbad der Stadt Osnabrück gesammelt.

Zur Filterspülung empfiehlt die DIN-Norm mindestens 6 m³ Spülwasser je m² Filterfläche zuzuführen. Laut Herstellerangaben kann der Spülwasserverbrauch auf 2,25 m³/m² herabgesetzt werden. Es sollte demzufolge überprüft werden, ob mit der reduzierten Spülwassermenge eine vollständige Reinigung des Filters erreicht werden kann. Nur erfolgreich durchgeführte Spülungen gewährleisten eine langfristige Filterfunktion.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit stellte die Reduzierung der Filterbetthöhe dar, welche derzeit nach der DIN 19643 ausgeführt wird. Parallel sollte das Filterbett visuell untersucht und mit den herkömmlichen Drucksandfiltern verglichen werden.

3.2 Erstellung der Strömungsprofile

3.2.1 Beschreibung der Versuchsansätze

Zu Beginn muss die Frage geklärt werden, wie die Strömung gemessen und dargestellt werden kann. Hierzu gibt es mehrere theoretische Ansätze, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

3.2.1.1 Druckdifferenzmessung

Durch unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Filters entstehen über das ganze Volumen unterschiedliche Drücke. Diese können mit einem Druckdifferenzmesser aufgenommen werden. Durch Messungen im kompletten Filter kann somit ein Druckprofil erstellt werden. Über die Drücke werden die Geschwindigkeiten errechnet und geben Aufschluss über die Strömungsverteilung.

Beim Spülen ist es notwendig das Filterkorn aus seiner Lagerung herauszuheben, um mit der Wasserströmung intensive Drehungen und somit einen gegenseitigen Abrieb der angelagerten Stoffe zu erzielen [5]. Die Wasserspülung der Captura-Filtern wird entsprechend den DIN-Vorgaben stets mit 50 m/h durchgeführt. Die Formel zur Berechnung des entstehenden Strömungsdrucks lautet:

$$p = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad \text{Gl. 3-1}$$

ρ = Dichte

v = Geschwindigkeit

Werte für die Rechnung	
ρ	$998,19 \frac{kg}{m^3}$
v	$50 \frac{m}{h}$ (nach DIN 19643)

$$v = 0,0138 \frac{m}{s}$$

$$p = 0,095 Pa \cong 0,095 \cdot 10^5 bar \cong 0,01 mmWs$$

Die Druckdifferenz durch die mittlere Strömung geht gegen Null. Um repräsentative Messergebnisse zu erhalten, muss die Messmethode reproduzierbar sein. Eine Abweichung der Messposition um 0,01 mm würde einer Messungenauigkeit von mehr als 100 % entsprechen. Diese Messmethode ist zu ungenau, nicht reproduzierbar und daher zur Untersuchung der Strömungsverhältnisse ungeeignet.

3.2.1.2 Flügelrad

Das Flügelrad nimmt eine Drehzahl an, welche sich proportional zur Strömungsgeschwindigkeit verhält. Flügelradsonden gibt es jedoch erst ab einem Anfangsmessbereich von 0,01 m/s.



Abb. 3.1: Flügelradsonde

Flügelradsonden gibt es jedoch erst ab einem Anfangsmessbereich von 0,01 m/s. Der Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit (0,0138 m/s) liegt also zu nah am unteren Messbereich. Daher ist diese Messmethode zu ungenau und muss ausgeschlossen werden.

3.2.1.3 Laser-Doppler-Anemometrie (LDA)

Die Laser-Doppler-Anemometrie ist ein berührungsloses optisches Messverfahren zur Bestimmung von Geschwindigkeitskomponenten in Fluidströmungen. Hierbei wird der Laserstrahl in die strömende Flüssigkeit gerichtet. Dort trifft er auf mitströmende Teilchen und wird gestreut. Durch die Streuung des Laserstrahls, erfährt dieser eine Doppler-Verschiebung. Wie stark diese ausfällt hängt von der Geschwindigkeit der reflektierenden Teilchen ab.

Diese Messmethode hat einen sehr großen Messbereich und ist nur für lichtdurchlässige Fluide geeignet. Die beizumischende Partikel dürfen nicht zu klein und nicht zu groß sein und dann nur in geringer Konzentration. Zur Veranschaulichung der Strömungsverhältnisse steht ein Kunststoffgranulat zur Verfügung, deren Körnung für LDA zu groß erscheint und würde zu einer starken Streuung führen. Außerdem kann nur bis zu einer Tiefe von 300 mm gemessen werden. Der Filter hat eine weitaus größere Tiefe von 1500 mm. Es kann nur der Bereich unmittelbar hinter der Plexiglasscheibe gemessen werden. Für die Strömungsversuche am Captura-Filter wird das LDA-Verfahren folglich als ungeeignet bewertet.

3.2.1.4 Stoßmarkierung

In Abb. 3.2 sind Markierungsmethoden für Verweilzeitmessungen zu sehen. Für den Captura-Filter wird die Stoßmarkierung gewählt. Dabei fügt man dem Filter zu einem Zeitpunkt $t = 0$ eine größere Menge markierter Teilchen (Markierungssubstanz) zu. Die markierte Stichprobe durchwandert das Filterbett und wird dabei an definierten Messstellen registriert.

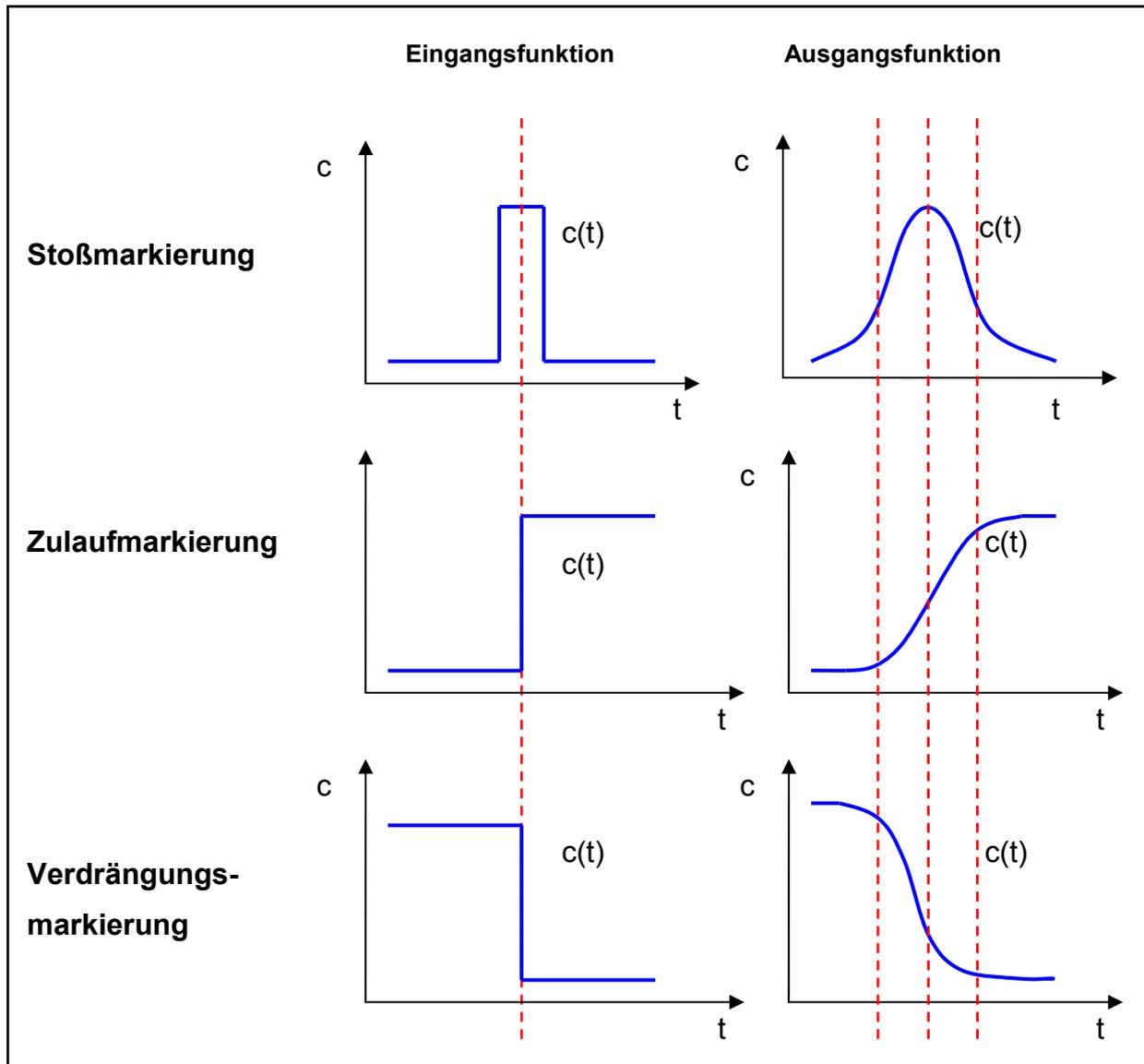


Abb. 3.2: Markierungsmethoden für Verweilzeitmessungen [8]



Abb. 3.3: Leitfähigkeitssonde

Als Markierungssubstanz wird Kochsalzlösung verwendet. Wenn die mit Salz markierte Stichprobe die Messstelle erreicht, wird es an der Sonde (s. Abb. 3.3) durch höhere Leitfähigkeitswerte signalisiert. Durch die Messung der Verweilzeit, bis die markierte Stichprobe die jeweilige Messstelle erreicht, lässt sich die Strömungsgeschwindigkeit errechnen. Die Messstellen können im Filter räumlich so verteilt werden, dass sich anschließend ein Strömungsprofil des gesamten Filterbettes ergibt.

3.2.1.5 Simulation

Um den theoretischen Aspekt zu berücksichtigen, kann die Strömung innerhalb des Filters mit dem Programm FLUENT simuliert werden. Hierzu wird die Filtergeometrie rekonstruiert und als Randparameter die Zulaufgeschwindigkeit vorgegeben. Anstatt der komplizierten Düsengeometrie werden runde Öffnungen angenommen.

3.2.1.6 Visuelle Untersuchungen mit Kunststoffgranulat

Parallel zu den Untersuchungen mit den verschiedenen Messmethoden wird die Strömung visuell bewertet. Dem Filterinneren soll hierzu ein Kunststoffgranulat zugesetzt werden, das anschließend bei der Spülung aufgewirbelt werden soll. Durch die aufsteigenden Kunststoffteilchen kann dann zumindest optisch bewertet werden, ob alle Bereiche gleich durchströmt werden.

Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten darf die Dichte des Granulats nur etwas höher als die Dichte des Wassers sein. Die Sinkgeschwindigkeit des Granulats in einem ruhenden Wasser sollte dabei einen Wert zwischen 0 m/s und 0,0138 m/s einnehmen und bei allen Teilchen gleich sein. Damit die Körner gleich sinken, müssen diese natürlich gleich groß und von einer einheitlicher Dichte sein (s. Gl. 3-2 für die stationäre Sinkgeschwindigkeit).

$$v_{\infty} = (\rho_{Kugel} - \rho_{Wasser}) \cdot \frac{g \cdot d^2}{18 \cdot \eta} \quad \text{Gl. 3-2}$$

Die Körnungsklasse kann allerdings schon alleine durch die unterschiedliche Teilchenform nicht präzise genug eingengt werden. Die nachfolgende Berechnung veranschaulicht, dass die kleinsten Abweichungen in der Größe bereits unterschiedliche Dichte voraussetzen, damit die Körner gleich sinken können. Einfachheitshalber wurde für die Berechnung eine kugelförmige Teilchenform angenommen.

$$\text{Gl. 3-2} \Rightarrow \rho_{Kugel} = \frac{18 \cdot \eta \cdot v_{\infty}}{d^2 \cdot g} + \rho_{Wasser}$$

ρ_{wasser} = Dichte des Wassers bei 20°C

ρ_{Kugel} = Dichte des Granulats

v = Sinkgeschwindigkeit des Granulats

η = Viskosität des Wassers

g = Erdbeschleunigung

d_1 = 1. angenommener Durchmesser des Granulats

d_2 = 2. angenommener Durchmesser des Granulats

Tabelle 3.1: Berechnungswerte laut VDI Wärmeatlas bei 20°C

ρ_{Wasser}	$998,19 \frac{kg}{m^3}$
v	$0,0138 \frac{m}{s}$
η	$0,001002 Pa \cdot s$
g	$9,81 \frac{m}{s^2}$
d_1	$0,005 m$
d_2	$0,003 m$

Nach Einsetzen der Werte für d_1 und d_2 ergibt sich:

$$\rho_{Kugel1} = 999,204 \frac{kg}{m^3} \quad \rho_{Kugel2} = 1001,01 \frac{kg}{m^3}$$

Weiterhin ist problematisch, dass die Kunststoffgranulate keine einheitliche Dichte aufweisen. Die Dichte, gemessen in g/cm^3 , kann in dem zu interessierenden Bereich nur auf zwei Nachkommastellen genau angegeben werden. Damit die Kunststoffkörner anschließend im Wasser gleich sinken können, muss jedes Teilchen bestimmte

Abmessungen aufweisen. In der Praxis ist dieses nicht umzusetzen, so werden die Versuche mit dem zur Verfügung stehenden Granulat durchgeführt.

3.2.1.7 Visuelle Untersuchungen mit Uranin

Uranin ist ein floeureszentes Färbemittel, welches bei Lichteinfall eine starke neon-grüne bis rostrote Färbung entwickelt. Das Pulver löst sich komplett in Wasser und ist dadurch ideal, um die Strömung visuell darzustellen.

3.2.2 Strömungsuntersuchungen ohne Filtermaterial

3.2.2.1 Versuchsaufbau

Der im Labor für Verfahrenstechnik aufgestellte Captura Filter entspricht, bis auf einige Änderungen, dem Standardfilter mit der Grundfläche von 1 m². Die Front des Filters besteht komplett aus einer Plexiglasscheibe, so dass visuelle Versuche durchgeführt werden können.



Abb. 3.4: Versuchsaufbau im Labor für Verfahrenstechnik für die Strömungsuntersuchungen

Des Weiteren ist an der Zuleitung des Spülwassers ein Volumenstrommesser angebracht, um die benötigten 50 m³/h über die Frequenz der Spülwasserpumpe einstel-

len zu können. Das Filtrat wird nicht in ein Schwimmbecken, sondern in einen Vorratstank geleitet. Da keine Verschmutzungen wie im Badebetrieb entstehen, kann das Spülwasser weiterverwendet werden. Es wird ein Kreislauf über den Tank geschaltet, so dass kein Wasser in die Kanalisation geführt wird, wie es beim eigentlichen Spülen der Fall wäre. Eventuelle Fremdkörper werden im Vorfilter aufgefangen, um so die Pumpen vor Feststoffen zu schützen.

Die Aufstellung des Versuchsaufbaus ist in Abb. 3.4 und Abb. 3.5 zu sehen. Das entsprechende Fließschema ist in Abb. 3.6 dargestellt.

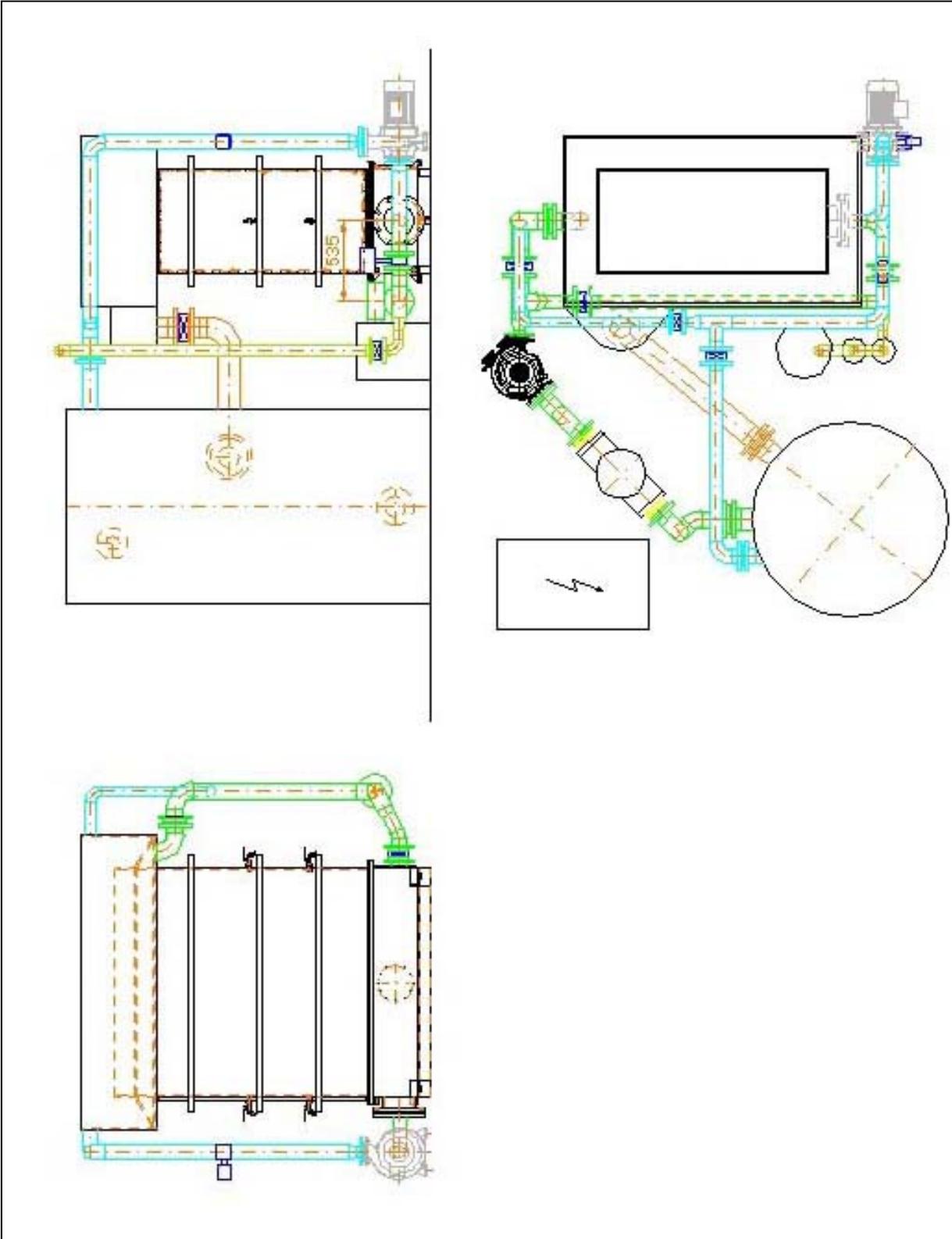


Abb. 3.5: Aufstellungsplan der Filteranlage für die Strömungsuntersuchungen

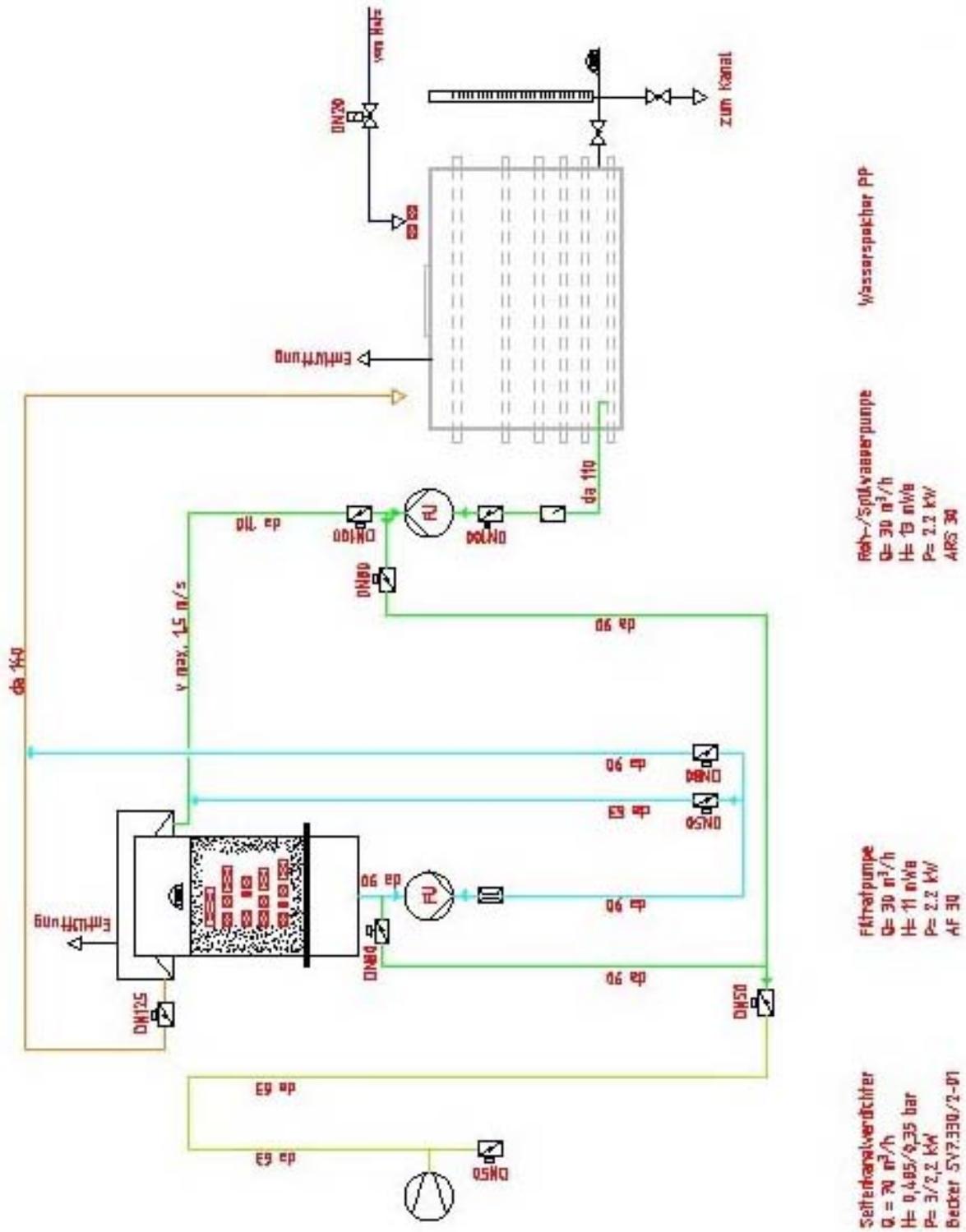


Abb. 3.6: Fließbild der Filteranlage für die Strömungsuntersuchungen

3.2.2.2 Versuche mit Stoßmarkierung

Wie im vorherigen Kapiteln beschrieben können Versuche mit Druckdifferenz, Flügelrad und Laser-Doppler-Anemometer nicht durchgeführt werden. Die Strömung wird mit der Stossmarkierung, der Simulation und visuell untersucht. Zunächst wird das Strömungsprofil ohne Filterbett untersucht. Mögliche Totzonen lassen sich auf diese Weise einfacher feststellen.

Während des Spülvorgangs wird eine Kochsalzlösung an den festgelegten Messpunkten in die Strömung eingeleitet und die Veränderungen der Leitfähigkeit mit den Messsonden registriert. Bei der Markierungssubstanz handelt es sich um 2-molare Kochsalzlösung. Mit Hilfe einer Schlauchpumpe und einem an einer Metallstange befestigten Schlauch werden 200 ml dieser Lösung zum Düsenboden gepumpt. Die

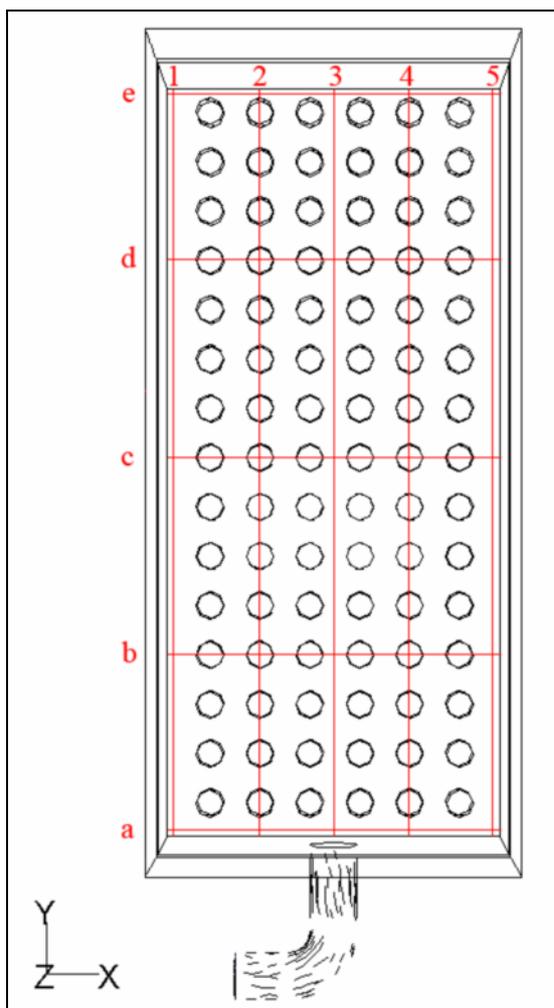


Abb. 3.7: Draufsicht mit markierten Messpunkten

Metalstange wird dann an den einzelnen Messpunkten positioniert, senkrecht ausgerichtet und mit Schraubzwingen fixiert.

Die Verteilung der Messpunkte über die Filterfläche ist Abb. 3.7 zu entnehmen. Die Messsonden werden auf drei Höhen von 0,45 m, 0,85 m und 1,25 m fest an der Stange montiert, so dass sich drei Messebenen und insgesamt 125 Messpunkte ergeben. Der Zeitpunkt Null wird mit dem Einschalten der Pumpe durch das Starten einer Stoppuhr festgehalten, da sich in dem Schlauch von vorherigen Messungen noch Salzlösung befindet. Sobald ein Messgerät eine Änderung in der Leitfähigkeit anzeigt, wird die entsprechende Verweilzeit notiert.

Pro Messpunkt werden mindestens fünf Messungen durchgeführt. Falls

einer der Werte starke Abweichungen zeigt, werden weitere Messungen an diesem Punkt vorgenommen.

Zwischen den einzelnen Versuchen muss Zeit vergehen, so dass sich die Markierungssubstanz im Wasser verteilen kann. Pro Messung wird ein kompletter Spülvorgang durchlaufen, um eine ausreichende Umwälzung zu gewährleisten. Mit jeder Messung steigt der Salzgehalt im Wasser und damit auch die Leitfähigkeit. Die Leitfähigkeitsänderungen werden mit steigendem Salzgehalt immer geringer und daher schwer messbar. Das Wasser muss daher in regelmäßigen Zeitabständen gewechselt werden, um aussagekräftige Werte zu erhalten.

Die Messwerte sind Tabelle 3.2 zu entnehmen. Mit den errechneten Geschwindigkeiten können dann mit Hilfe des Programms „Gnuplot“ in 3-D-Ansicht Strömungsprofile erstellt werden.

Die Messungen wurden bei einer Pumpenfrequenz von 44 Hz durchgeführt. Diese Frequenz entspricht einem Volumenstrom von $50 \text{ m}^3/\text{h}$.

Die x-Koordinate beschreibt die Breite, die y-Koordinate die Länge des Filters und die z-Koordinate die Geschwindigkeit auf einer der drei Höhen. Auf der x,y – Ebene werden durch die einzelnen Farbflächen Bereiche gleicher Geschwindigkeit dargestellt.

Es ist zu beachten, dass die äußeren Messpunkte nicht direkt am Filterrand, sondern um ca. 1 cm nach innen versetzt sind.

Diagramm 3.1 - Diagramm 3.3 stellen die Geschwindigkeiten an den jeweiligen Messpunkten dar. In den darauf folgenden Diagrammen wurde durch eine Interpolation der Messergebnisse ein feineres Raster und somit gleichmäßigere Geschwindigkeitsverteilung erzielt.

Tabelle 3.2: Messwerte bei 44 Hz

X		Y		44Hz															
				I [sec]					II					III					
				1.	2.	3.	4.	5. Durch	1.	2.	3.	4.	5. Durch	1.	2.	3.	4.	5. Durch	
a1	1	10	15	15	20	13	14,6	41	40	42	38	38	39,8	57	71	68	76	70	68,4
a2	17	25	20	24	22	18	21,8	39	33	47	36	30	37	55	54	67	55	50	56,2
a3	33	15	18	17	11	15	15,2	30	41	31	45	25	34,4	60	43	41	65	30	47,8
a4	48	20	17	19	17	18	18,2	35	29	40	30	31	33	53	60	65	50	48	55,2
a5	65	13	14	14	12	13	13,2	36	38	38	37	44	38,6	80	65	74	91	94	80,8
b1	1	22	18	14	18	15	17,4	53	47	40	51	45	47,2	71	73	103	76	94	83,4
b2	17	28	34	22	27	26	27,4	65	59	46	52	54	55,2	90	85	80	79	85	83,8
b3	33	23	37	54	25	29	33,6	45	79	77	85	75	72,2	86	93	108	106	108	100,2
b4	48	28	30	40	32	30	32	53	53	60	60	60	57,2	87	85	80	88	90	86
b5	65	17	18	15	21	14	17	65	32	35	35	34	40,2	78	50	85	114	95	84,4
c1	1	18	25	24	18	20	21	67	48	45	44	56	52	87	93	95	80	82	87,4
c2	17	21	22	34	20	24	24,2	56	61	58	43	60	55,6	87	82	84	80	88	84,2
c3	33	31	33	24	32	27	29,4	67	60	74	60	56	63,4	88	87	95	95	96	92,2
c4	48	24	26	22	28	23	24,6	50	58	52	58	45	52,6	86	86	80	82	80	82,8
c5	65	24	24	19	21	22	22	68	47	41	43	68	53,4	99	74	77	60	106	83,2
d1	1	16	14	14	16	11	14,2	36	40	30	36	34	35,2	58	76	45	59	69	61,4
d2	17	30	29	29	29	30	29,4	43	43	58	60	45	49,8	75	56	70	70	75	69,2
d3	33	36	30	25	30	39	32	47	65	50	50	53	53	71	77	60	73	74	71
d4	48	33	26	29	25	25	27,6	53	53	50	54	45	51	75	70	65	70	60	68
d5	65	20	16	25	20	16	19,4	35	26	37	48	40	37,2	60	53	58	60	63	58,8
e1	1	14	13	12	14	13	13,2	34	31	34	42	39	36	56	66	64	63	83	66,4
e2	17	16	18	19	18	18	17,8	40	35	38	35	38	37,2	60	60	57	54	56	57,4
e3	33	22	17	18	18	21	19,2	40	48	44	40	41	42,6	57	59	61	58	65	60
e4	48	12	15	13	11	14	13	27	36	32	31	30	31,2	41	46	40	53	55	47
e5	65	10	10	12	10	9	10,2	28	28	28	30	25	27,8	56	70	70	60	40	59,2

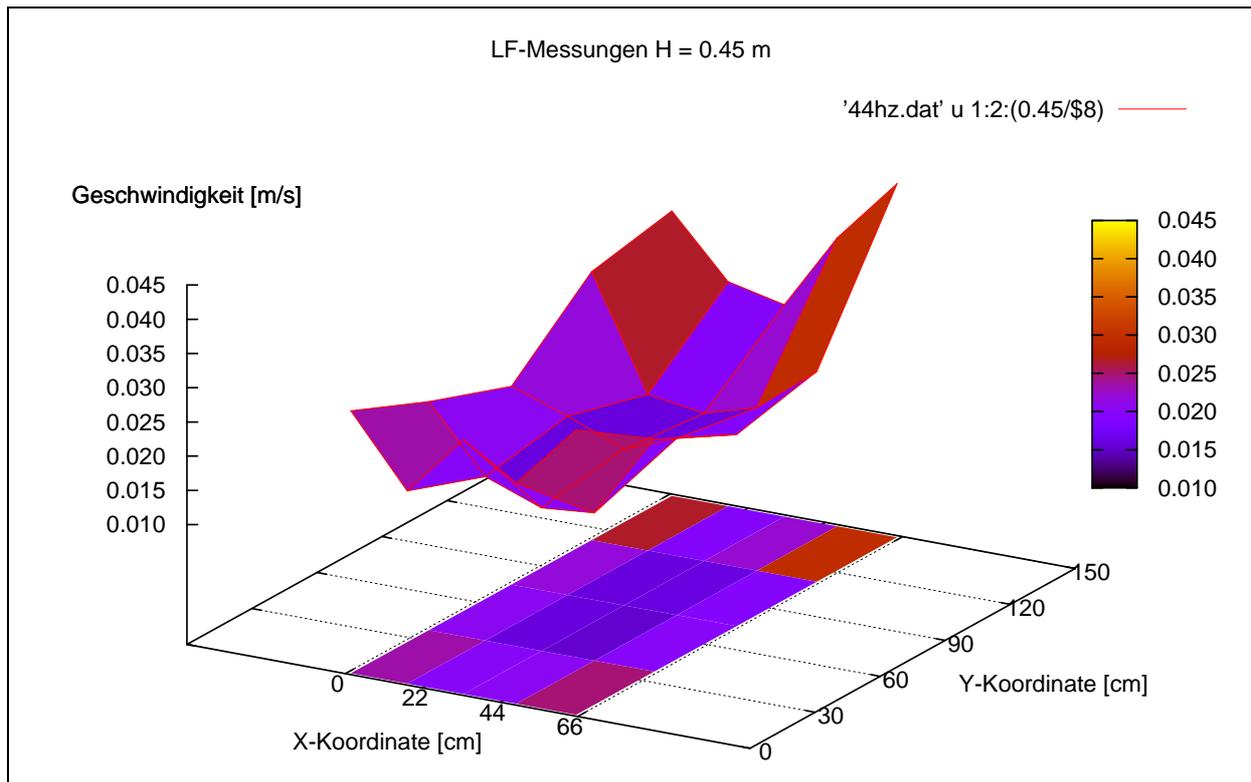


Diagramm 3.1: Ergebnisse der LF-Messung auf Höhe von 0,45 m

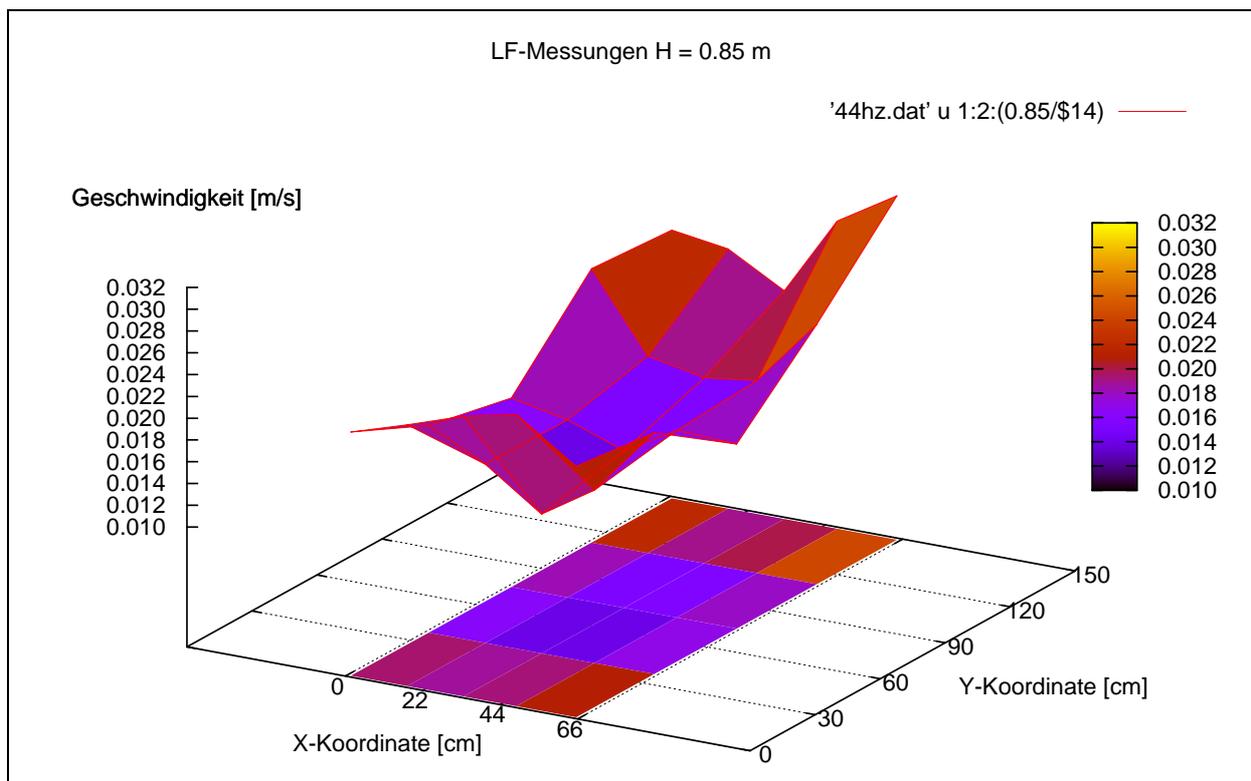


Diagramm 3.2: Ergebnisse der LF-Messung auf Höhe von 0,85 m

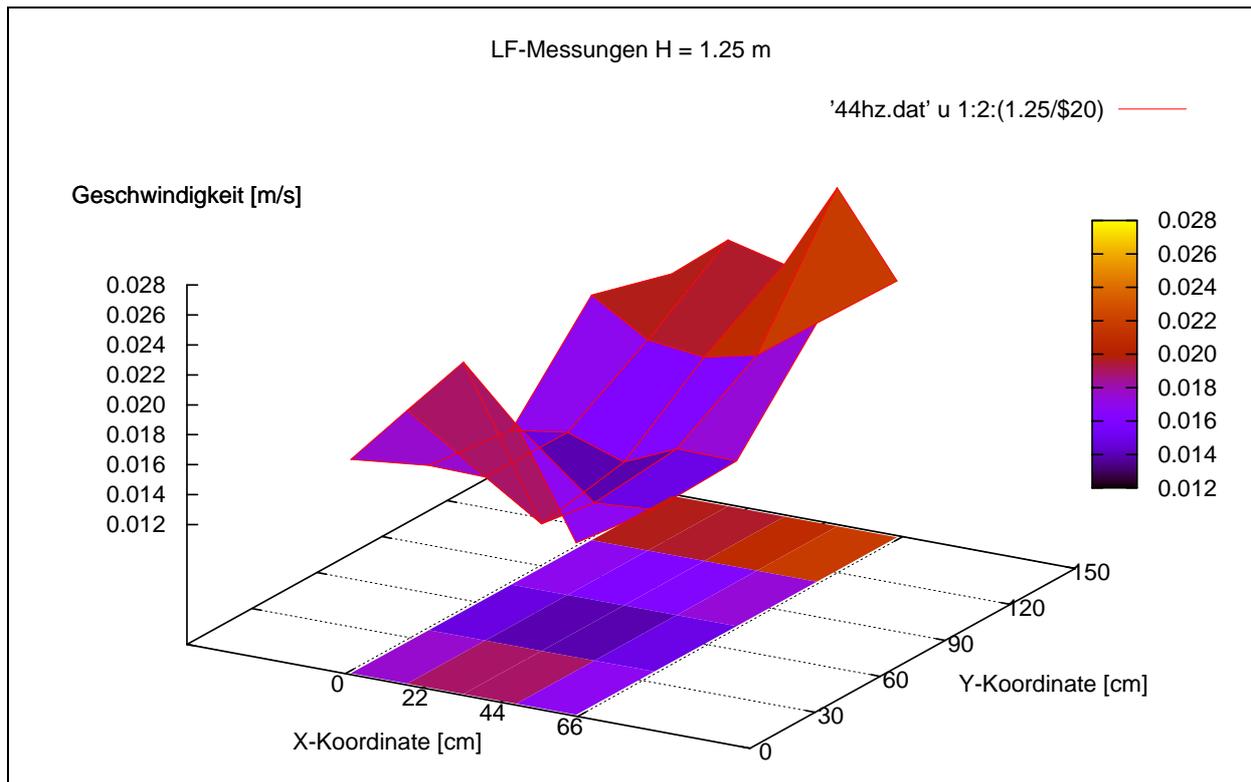


Diagramm 3.3: Ergebnisse der LF-Messung auf Höhe von 1,25 m

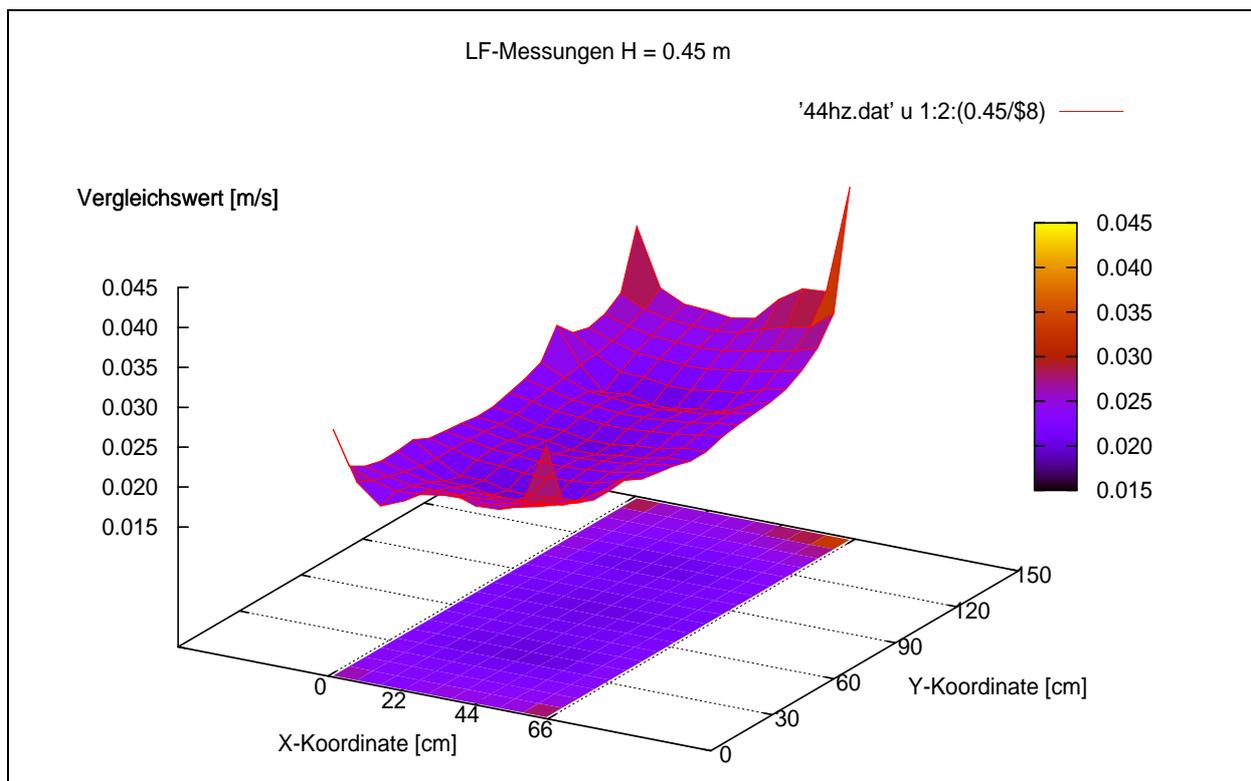


Diagramm 3.4: interpolierte Geschwindigkeitsverteilung auf Höhe von 0,45 m

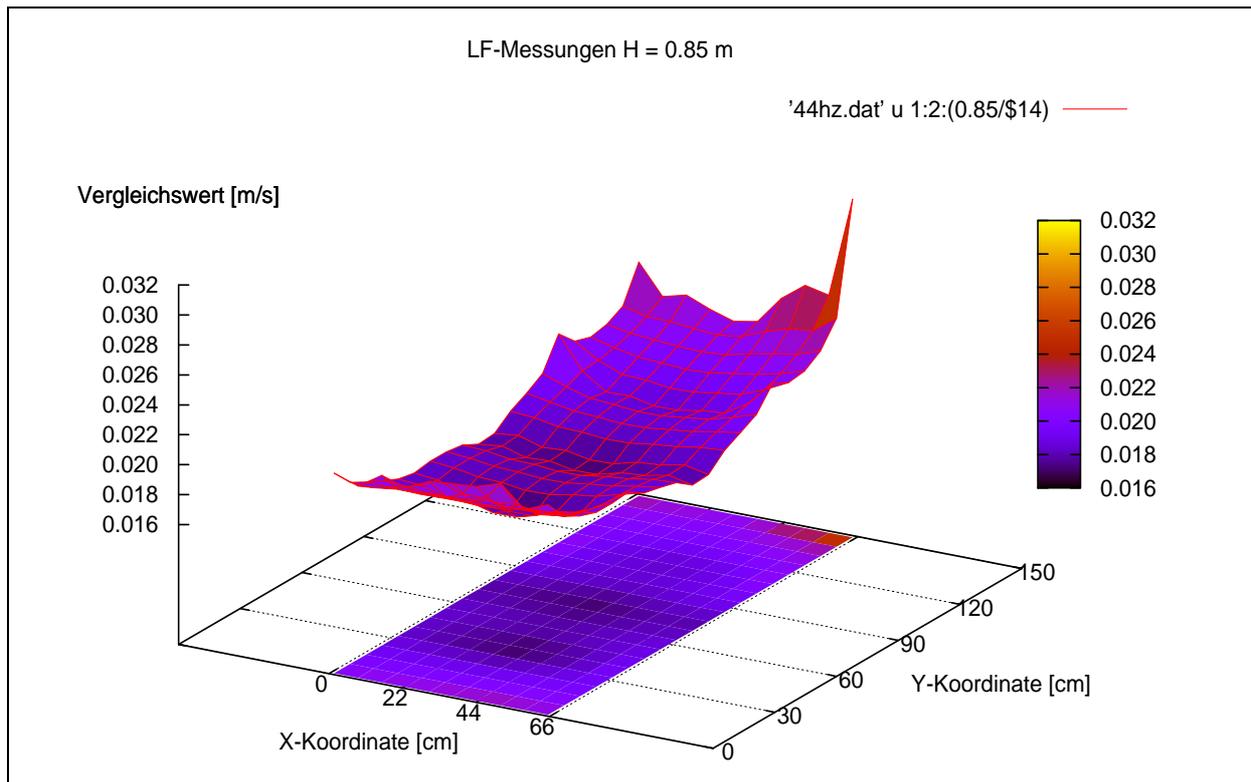


Diagramm 3.5: interpolierte Geschwindigkeitsverteilung auf Höhe von 0,85 m

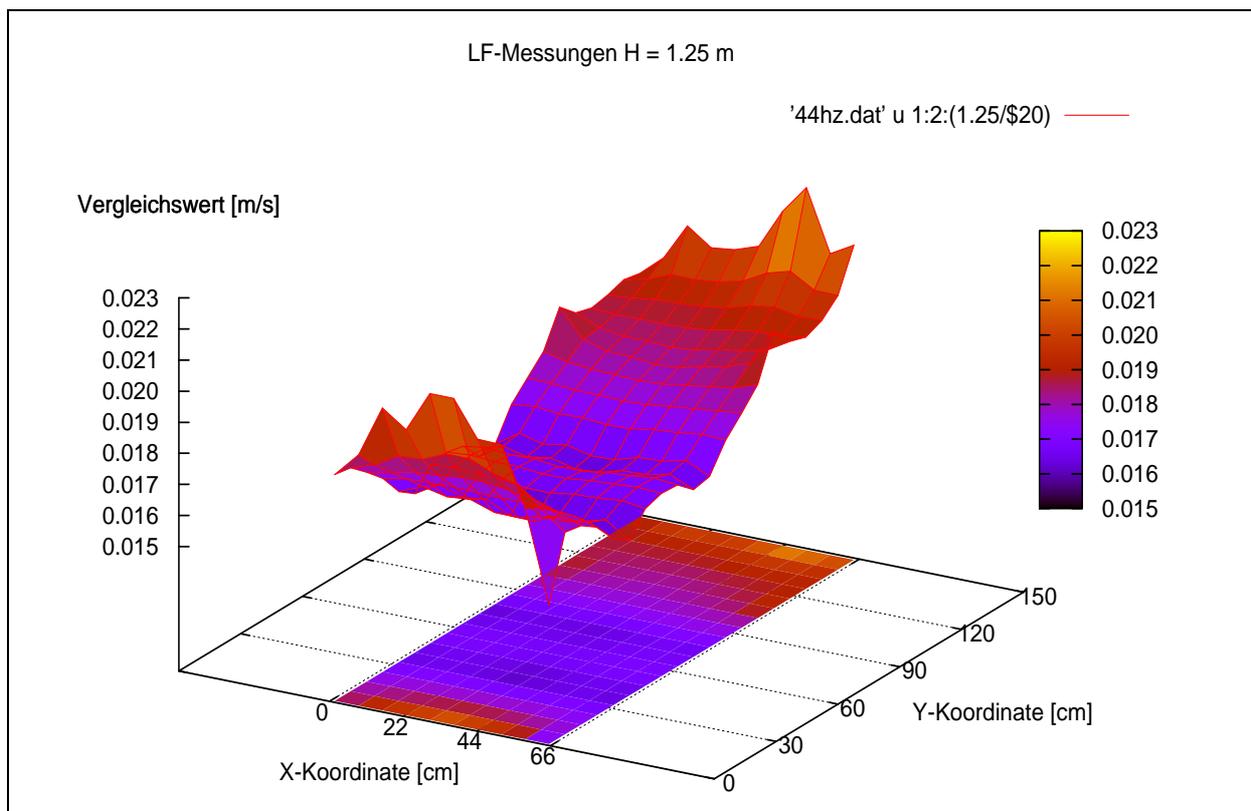


Diagramm 3.6: interpolierte Geschwindigkeitsverteilung auf Höhe von 1,25 m

3.2.2.3 Simulation

Die Filterabmessungen werden mit dem Programm FLUENT simuliert und eine Spülleistung von 50 m³/h vorgegeben. Die resultierenden Strömungsgeschwindigkeiten im Filter können an jedem beliebigen Punkt durch Farbverläufe dargestellt werden. Über verschiedene Parameter können so verschiedene Strömungssituationen durchgerechnet werden.

Screenshots aus dem Programm zeigen Abb. 3.8 - Abb. 3.14.

Auf den Abbildungen ist zu sehen, dass sich die Strömung über die Höhe des Filters weitestgehend homogenisiert. Die Abbildung Abb. 3.10 zeigt nur die z-Komponente, welche nach oben orthogonal zu der Filterfläche gerichtet ist. Es ist gut zu sehen, wie sich einzelne Geschwindigkeitsdifferenzen auflösen und im hinteren Bereich des Filters eine höhere Geschwindigkeit vorherrscht. Dies entspricht auch den Ergebnissen der Stossmarkierung.

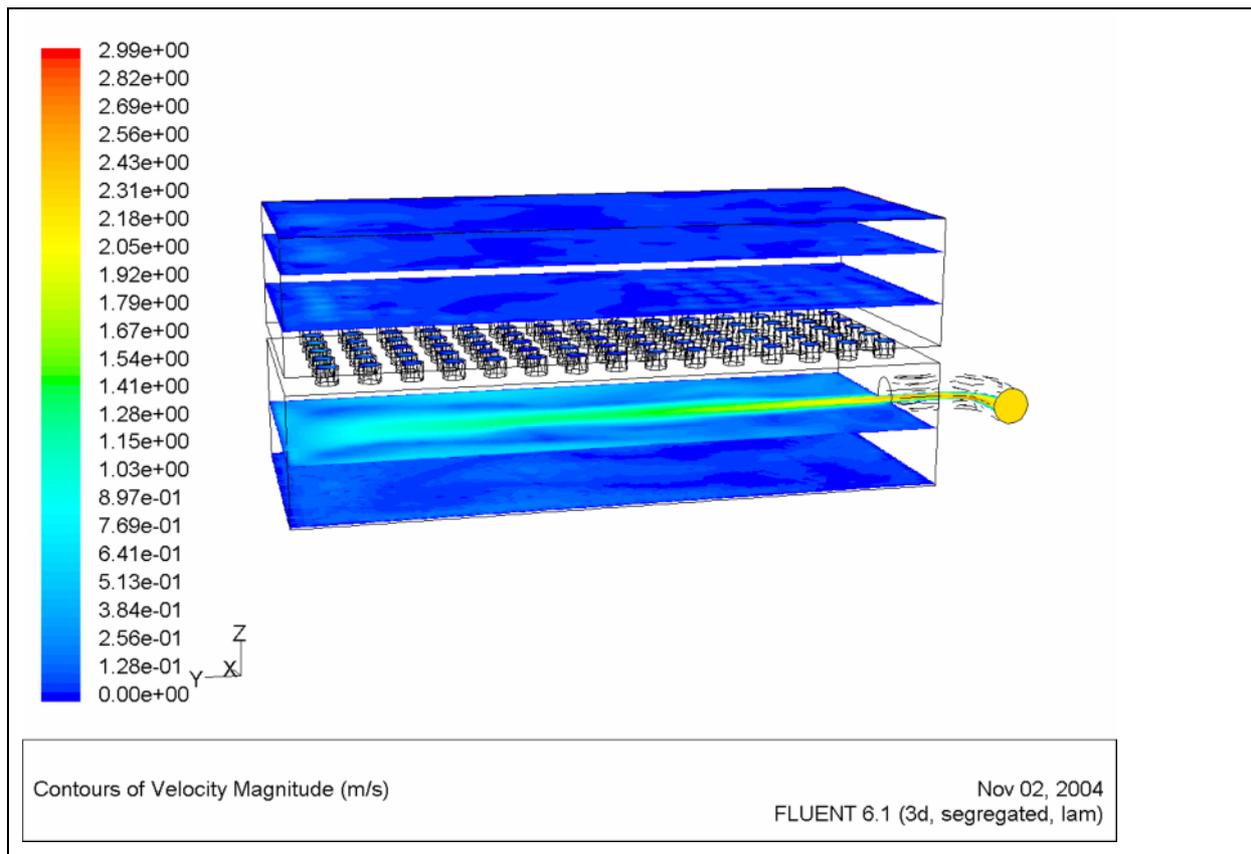


Abb. 3.8: Strömungssimulation der Strömungsgeschwindigkeit

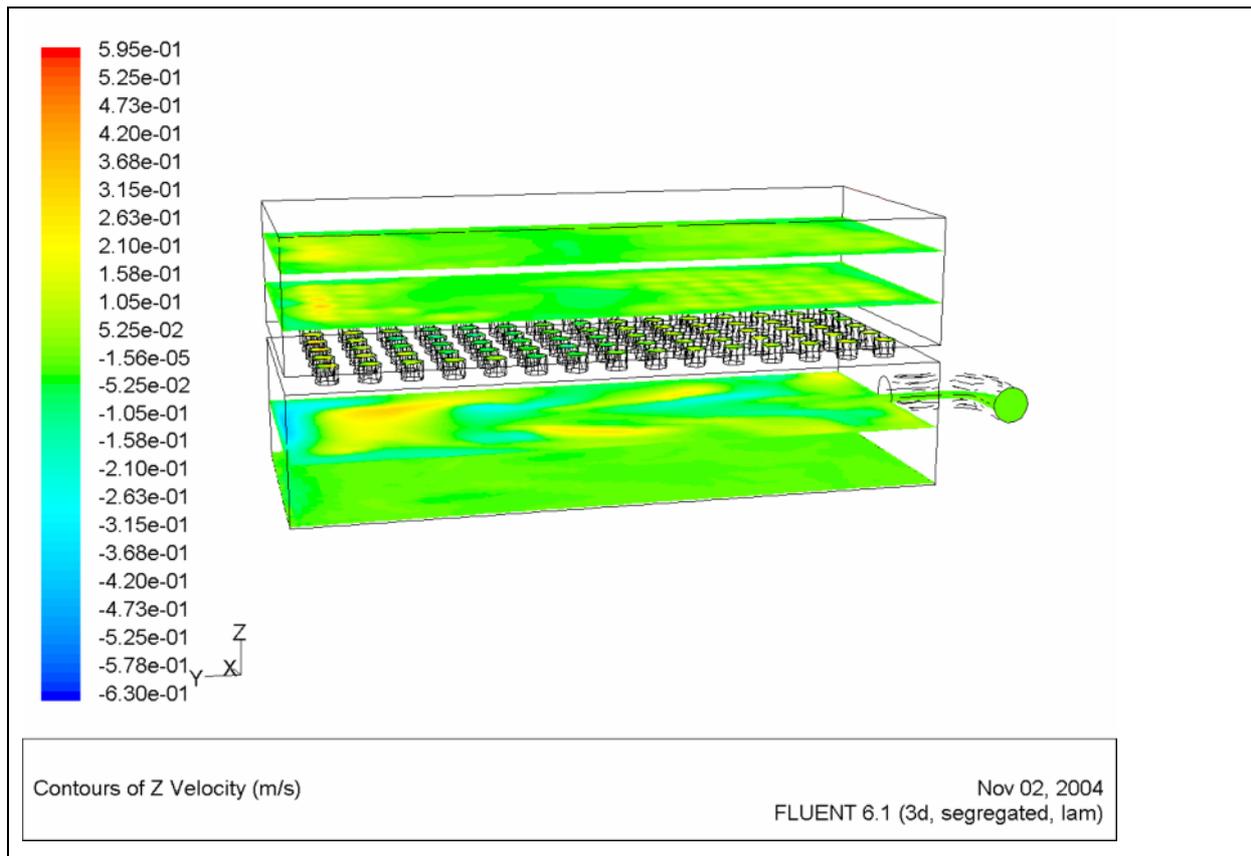


Abb. 3.9: Strömungssimulation der z-Komponente der Strömungsgeschwindigkeit

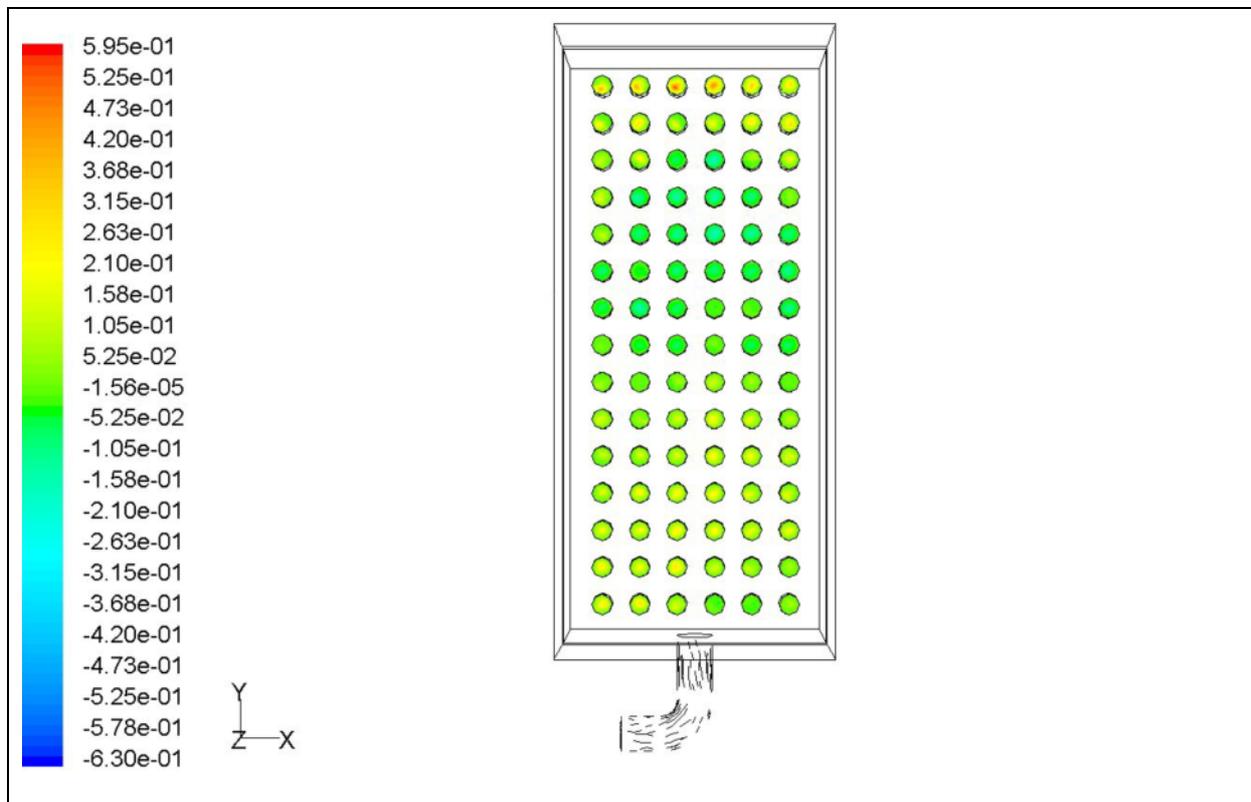


Abb. 3.10: Strömungssimulation der z-Komponente der Strömungsgeschwindigkeit am Düsenaustritt

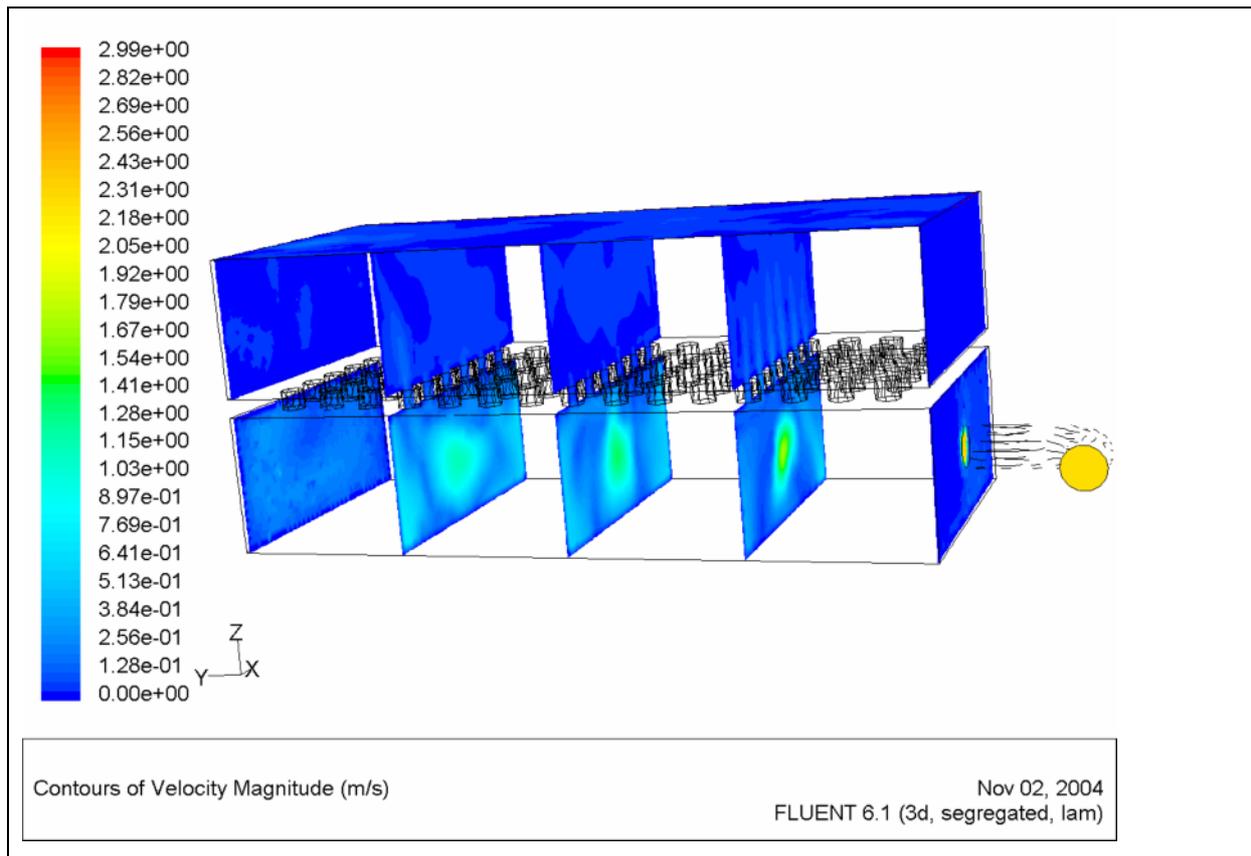


Abb. 3.11: Strömungsgeschwindigkeit in den gemessenen Ebenen

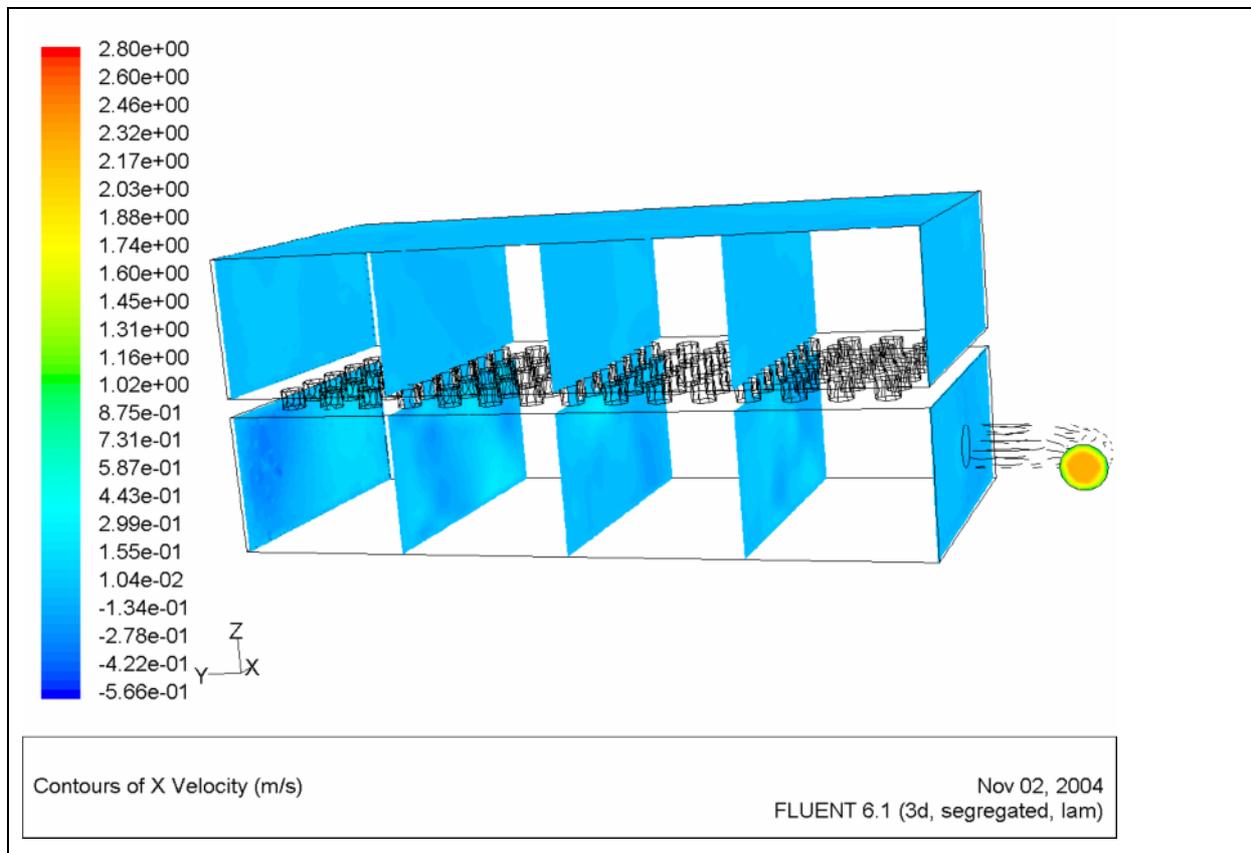


Abb. 3.12: x-Komponente der Strömung in den gemessenen Ebenen

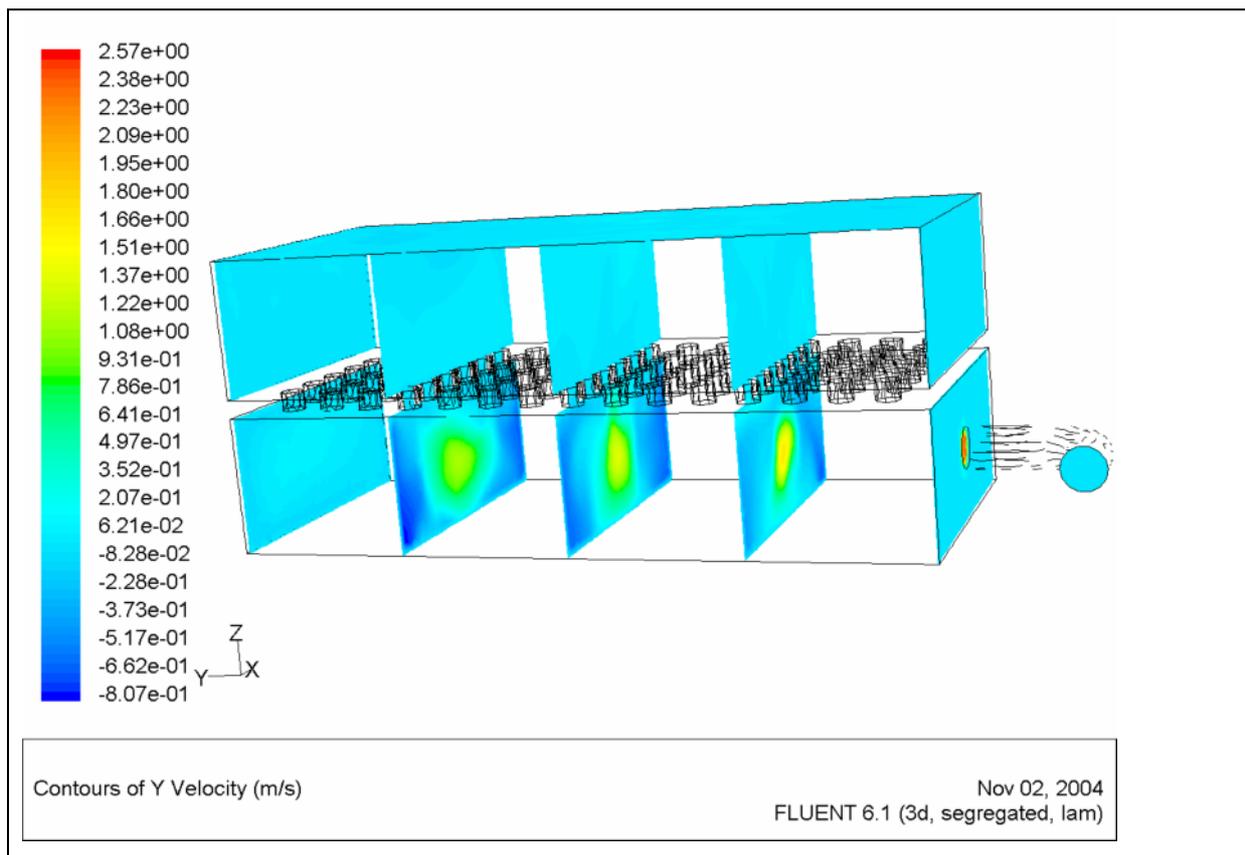


Abb. 3.13: y-Komponente der Strömung in den gemessenen Ebenen

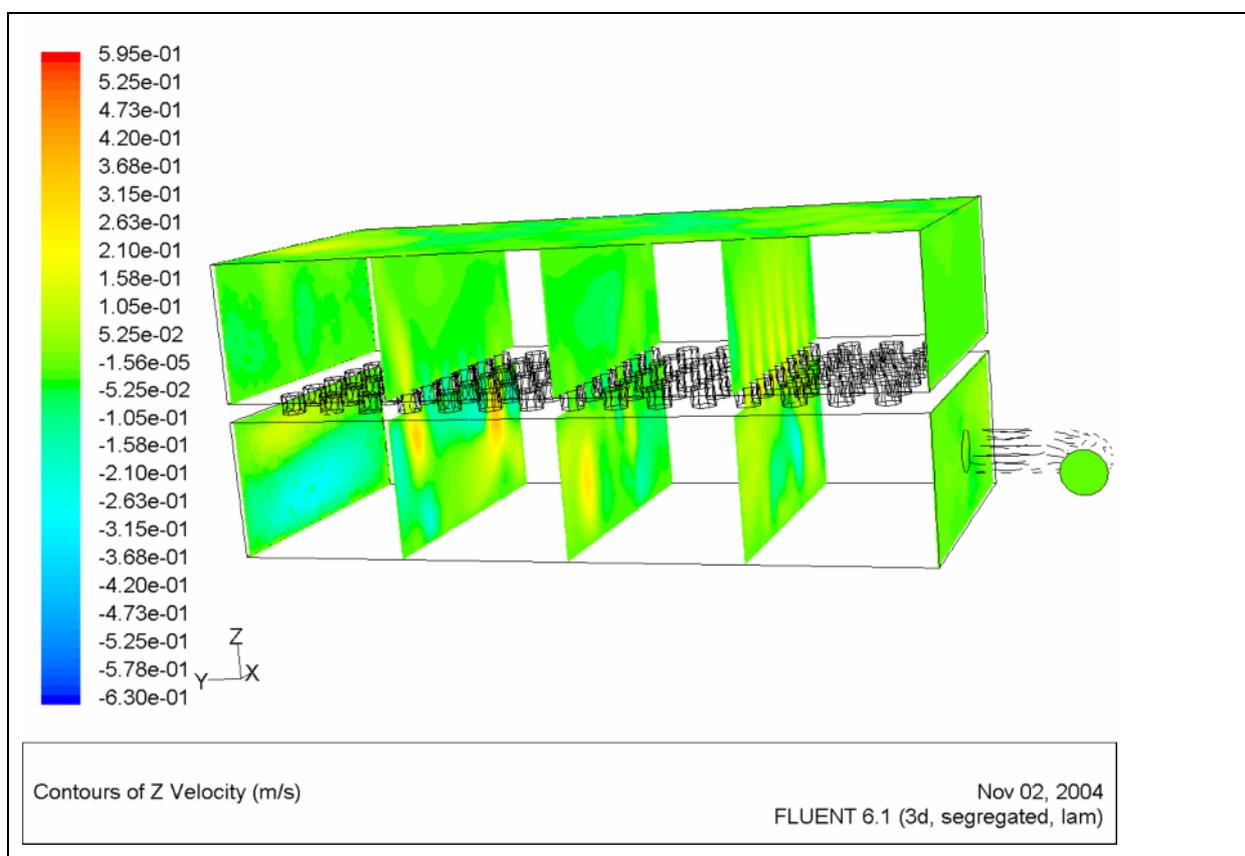


Abb. 3.14: z-Komponente der Strömung in den gemessenen Ebenen

3.2.2.4 Versuche mit Kunststoffgranulat

Das Hauptproblem war es, ein Kunststoffgranulat zu finden, welches sich bei gegebenen geringen Geschwindigkeiten mit der Strömung bewegt. Hierzu wurden in einem großen Standzylinder Sinkversuche durchgeführt und mit einer Stoppuhr die Sinkdauer festgehalten. Bis zum Erreichen einer maximalen Sinkgeschwindigkeit von 0,0138 m/s, benötigte das Granulat für eine Strecke von 13,8 cm mindestens 10 sec, Die meisten Granulatsorten sanken schneller, oder aber schwammen an der Oberfläche. Deren Körnung war also zu groß bzw. zu gering.

Das erste zur Verfügung stehende Granulat war etwas leichter als Wasser und stieg sehr langsam zur Wasseroberfläche auf. Durch Aufbringen von schwarzem Autolack versuchte man, die einzelnen Granulatkügelchen schwerer zu machen. Dieser Versuch scheiterte jedoch daran, dass der Lack abblätterte, zudem auch nicht genug Gewicht erzeugte.

Die zweite Granulatsorte wies eine sehr unterschiedliche Körnung auf. Im Wasser sank ein Teil zu Boden, während die meisten Teilchen an der Wasseroberfläche verblieben. Das Granulat musste also getrennt werden. Hierfür wurde ein mit Bodenablass ausgestatteter Behälter mit Wasser gefüllt und das Granulat hinzugegeben (s. Abb. 3.15). Aus 20 kg konnte auf diese Weise ca. 1 kg Granulat mit der passenden Sinkgeschwindigkeit gewonnen werden.



Abb. 3.15: Trennung des Granulats

Das getrennte Granulat konnte nun für die Versuche verwendet werden. Obwohl es weiß war, wurde für die Filmaufnahmen durch die Ausleuchtung noch genügend Kontrast gewährleistet. Das Granulat wurde von oben über die komplette Filterfläche verteilt ins Wasser gegeben. Durch die geringe Sinkgeschwindigkeit dauerte es, bis die Teilchen den Düsenboden erreicht haben. Der Filter musste während dieser Zeit im Spülvorgang angehalten werden, so dass direkt mit dem Wasserspülen begonnen werden konnte.

Die Spülgeschwindigkeit und die Bewegung des Wassers wurden durch das Granulat dargestellt und wurden ständig gefilmt (s. CD1: Versuche ohne Filtermaterial, Granulat, Filter 01, 02).

Um nur bestimmte Bereiche der Strömung zu beobachten, wurde das Granulat mit einer Schlauchpumpe oder auch mit einem Kunststoffrohr an die einzelne Düsen gebracht. Auch hierbei musste der Spülvorgang unterbrochen werden.

Durch mehrfaches Spülen hintereinander wurde das Granulat aus dem Filter ausgespült. Es sammelte sich im Vorfilter und konnte von dort für weitere Versuche entnommen werden.

Die Wasserspülungen wurden von vorn durch die Plexiglasscheibe und von oben gefilmt. Die Filme wurden per Firewire und dem Programm Adobe Premiere digitalisiert, geschnitten, komprimiert und sind auf CDs als Anhang beigefügt.

3.2.2.5 Versuche mit Uranin

Die Uraninlösung wurde mit Hilfe des an einen Metallstab angebrachten Schlauchs und der Schlauchpumpe, wie bei den Versuchen mit der Kochsalzlösung (s. Kapitel 3.2.2.2), zu den einzelnen Düsen gepumpt und somit die Strömung in dem jeweiligen Bereich visuell dargestellt.

Um Beobachtungen über die komplette Filterfläche zu machen, wurde die Spülung angehalten und das Uranin in den Vorfilter gegeben. Das Uranin gelangte dann in die Filtratkammer und trat durch die Düsen aus. Die Farbstoffverteilung wurde mit der Videokamera festgehalten (s. CD 1: Versuche ohne Filtermaterial, Uranin, Filter 03-04).

3.2.3 Strömungsuntersuchungen mit eingebettetem Filtermaterial

Die Strömungseigenschaften des Filters wurden auch unter normalen Bedingungen untersucht. Der Filter wurde mit dem Filtermaterial befüllt und die Strömung mit Stossmarkierung, Uranin und Kunststoffgranulat (s. CD 1: Versuche mit Filtermaterial) geprüft.

3.2.3.1 Befüllung des Filtermaterials

Der Versuchsaufbau entsprach, bis auf eine Änderung, dem der Versuche ohne Filterbett aus dem Kapitel 3.2.2.1.

Zunächst wurden die Sandschichten aufgeschüttet, der Filter mit Wasser befüllt und die Wasserspülung durchgeführt (s. CD 1: Versuche mit Filtermaterial, Sandschichten aufgefüllt, Filter 06, 07, 08, 09). Dabei bildete sich auf der Oberfläche eine dünne

Schicht aus sehr feinem Sand, das sogenannte Unterkorn. Dieses wurde abgeschöpft, da es so fein ist, dass die Strömung dadurch blockiert wird.



Abb. 3.16: Filter mit zusätzlicher Abflussleitung

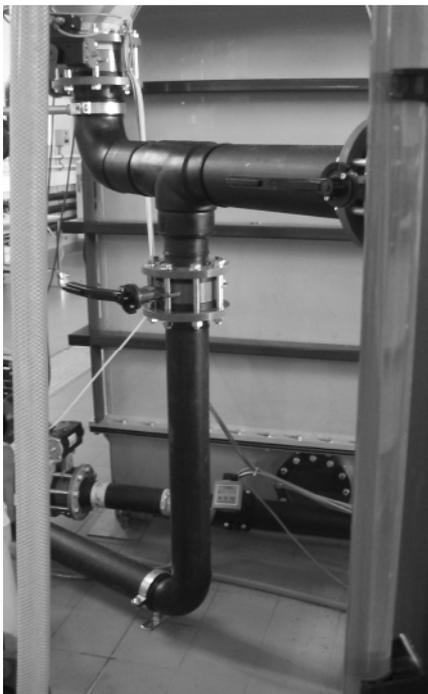


Abb. 3.17: Filter mit zusätzlichen Klappen und Abflussleitung

Im Anschluss wurde der Braunkohlekoks eingebracht und 24 Stunden im Wasser gequollen. Danach wurden mehrere Wasserspülungen bei niedriger Frequenz der Pumpe durchgeführt und dadurch feinere Körner ausgespült (s. CD1: Versuche mit Filtermaterial, Braunkohlekoks aufgefüllt). Damit dieses Filtermaterial direkt abgeführt werden konnte und nicht in den Vorratstank gelang, wurde die zusätzliche Rohrleitung installiert. Diese wurde an die Zuleitung vom Filter zum Vorratstank angebracht und war mit einer manuell zu bedienenden Klappe ausgestattet (s. Abb. 3.16) Auch die Zuleitung erhielt eine Klappe, so dass das Schlammwasser

komplett in die Kanalisation umgeleitet worden ist. Dies ist in Abb. 3.17 zu sehen. Die Frequenz der Spülpumpe wurde dann schrittweise erhöht, so dass sich beim Spülen wieder ein Volumenstrom von $50 \text{ m}^3/\text{h}$ einstellte.

3.2.3.2 Versuche mit Stossmarkierung

Die Leitfähigkeitsmessungen wurden wie in Kapitel 3.2.2.2 beschrieben durchgeführt. Es konnte jedoch nur über dem Filterbett gemessen werden, da die feinen Körner des Filtermaterials durch die Messsonde strömten und dadurch die Leitfähigkeit verfälschten. Demzufolge wurde nur über dem Filtermaterial auf einer Höhe von 160 cm gemessen. Die Stange mit dem Schlauch konnte ohne Probleme bis zum Düsenboden gebracht werden, da während der Wasserspülung das Filtermaterial fluidisierte und leicht zu durchdringen war. Mit den gemessenen Werten wurden analog zu dem Kapitel 3.2.2.2 Strömungsprofile erstellt. Die Messwerte waren jedoch nicht mehr so aussagekräftig wie bei den Versuchen in einem leeren Filterkörper, weil der Sand und die Braunkohlekoks-kohle die Stoßmarkierung abschwächten und damit das Ergebnis verfälscht haben. Diese Abschwächung durch das Filtermaterial durfte allerdings über die Filterfläche relativ gleich bleiben.

Die Erwartung war, dass die Strömung beim Spülen in der Mitte des Filters am schnellsten ist. In den Randbereichen waren Totzonen zu befürchten. Die Ergebnisse bewiesen jedoch das Gegenteil. Zur Übersicht ist in Diagramm 3.7 und Diagramm 3.8 der Verlauf der Querschnittsströmung (X- und Y-Mittelachse) dargestellt. In den Rand war die Strömungsgeschwindigkeit schneller als in der Mitte gewesen.

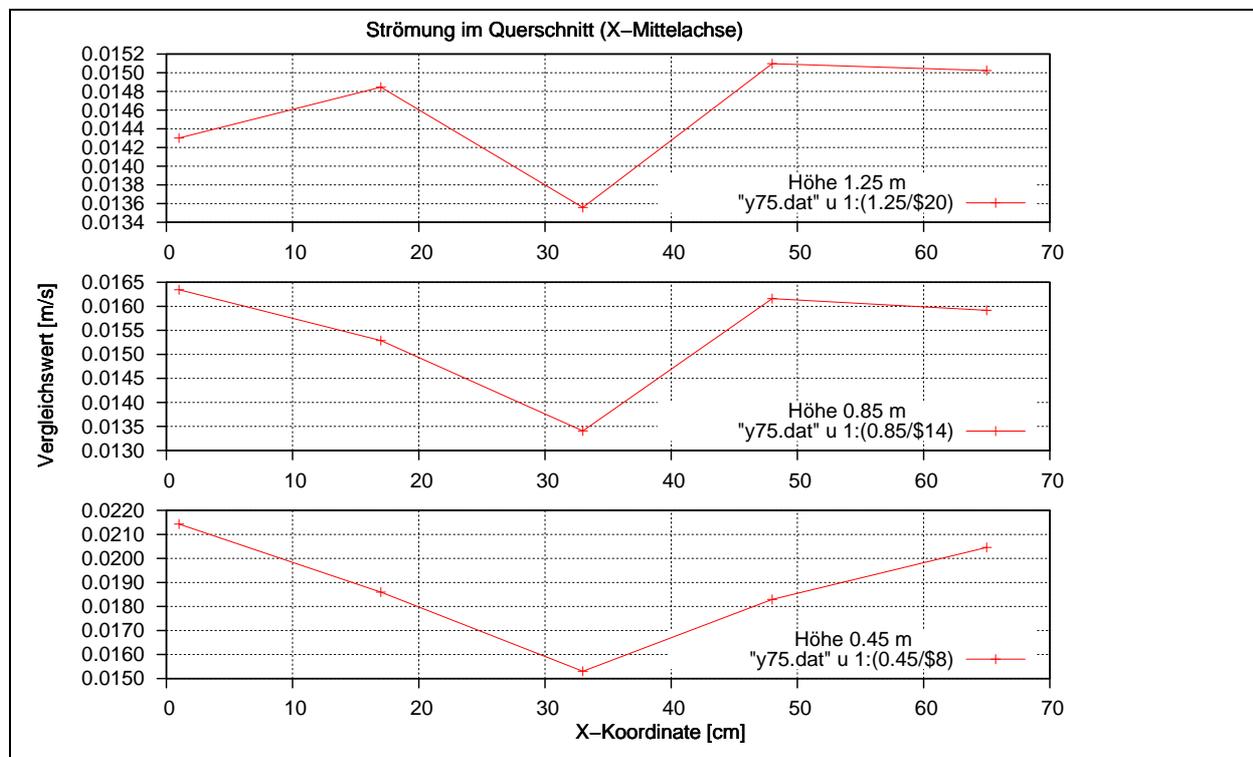


Diagramm 3.7: Strömung im Querschnitt (X-Mittelachse)

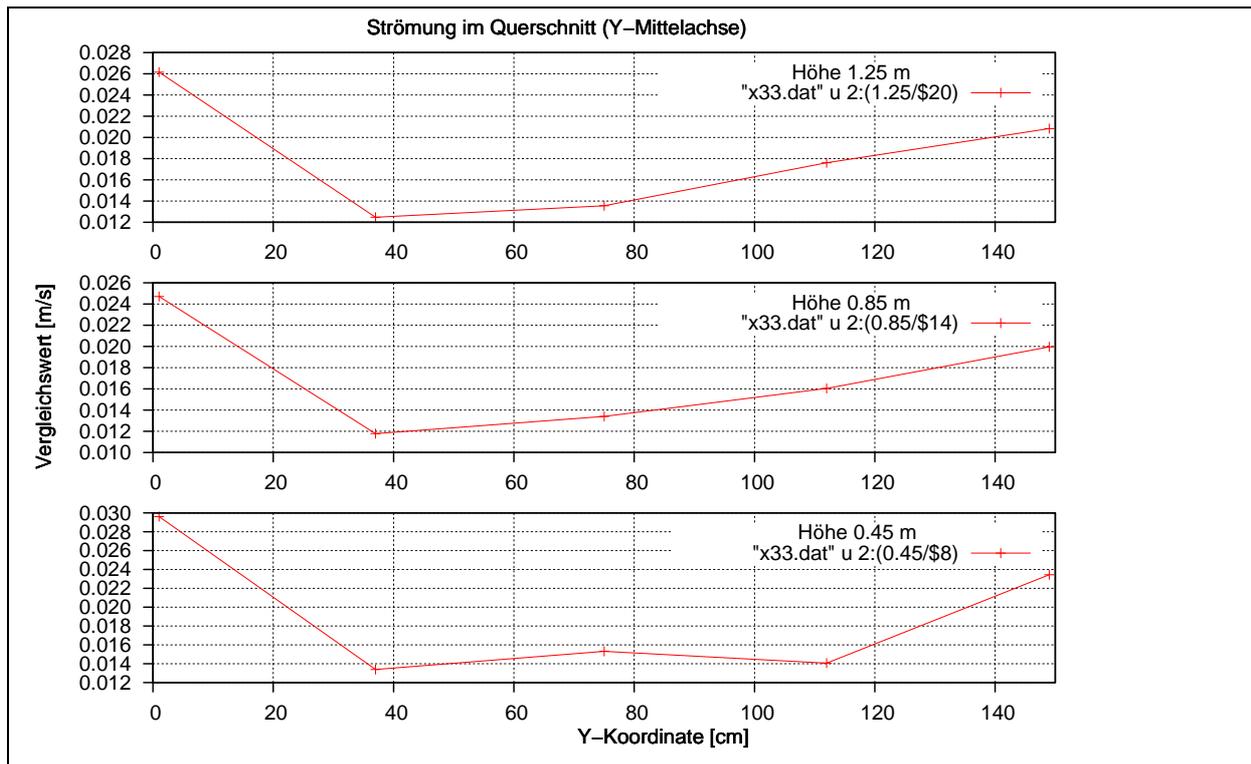


Diagramm 3.8: Strömung im Querschnitt (Y-Mittelachse)

3.2.3.3 Versuche mit Kunststoffgranulat

Das Granulat konnte nicht in das Filtermaterial eingebettet werden, so dass Strömungsuntersuchungen nur auf dem Filtermaterial durchgeführt wurden. Der Spülvorgang wurde hierfür nach der Luftspülung angehalten und das Granulat auf dem Filtermaterial verteilt. Nachdem es sich abgesetzt hat, konnte die Spülung fortgesetzt und gefilmt werden.



Abb. 3.18: Verblockung des Braunkohlekoks

Auf Grund der Absetzzeit hatte sich jedoch die Braunkohlekoksschicht verkantet und stieg als Block auf, ohne die Strömung durchzulassen. Der Block löste sich zuerst an den Seiten auf und erzeugte dadurch eine Welle, die einige Liter an Anthrazitkohle über den Rand des Filters in den Verteiler ausspülte. Unter diesen Umständen wurde der Versuch mit Granulat abgebrochen.

Die Verblockung des Braunkohlekoks war auf das Unterbrechen des Spülprozesses zurückzuführen. Nach der Luftspülung vergingen im Durchschnitt 10 Minuten, bis die Wasserspülung einsetzte. In dieser Zwischenzeit wurde das Kunststoffgranulat aufgefüllt, wobei der Filter wieder entlüftete und die Braunkohlekoksschicht wieder verdichtet wurde. Bei der Fa. Aquila haben die Praxiserfahrungen gezeigt, dass während der Inbetriebnahme das Phänomen des Verblockens nur dann auftritt, wenn der Filter etwas länger als 5 Minuten entlüftet wird. Im Realbetrieb sind die einzelnen Spülphasen genau definiert, so dass diese Art Störungen nicht vorkommen.

3.2.3.4 Versuche mit Uranin

Um die komplette Fläche mit Uranin durchströmen zu lassen, wurde es in den Vorfilter gegeben. Vom Anhalten der Strömung bis zum Weiterführen vergingen knapp zwei Minuten, doch auch dann stieg die Braunkohlekoks-schicht als Block an. Die punktuelle Versuchsanordnung mit dem Schlauch war ohne Probleme umzusetzen, da hier die Spülung nicht unterbrochen werden musste. Aufnahmen der vordersten Reihe wurden durch die Plexiglas-scheibe aufgenommen (s. CD 1: Versuche mit Filtermaterial, Uranin, Filter 14, 15). Strömungen an den einzelnen Düsen im mittleren und hinteren Teil des Filters wurden von oben gefilmt (s. CD1: Versuche mit Filtermaterial, Uranin, Filter 16).

3.2.4 Diskussion

Die Erstellung eines Strömungsbildes ist praktisch schwer zu realisieren gewesen. Messtechnisch erhielt man die Fließgeschwindigkeit durch die Zugabe einer Salzlösung und hat diese über die Leitfähigkeitsveränderungen registriert. Die erhaltenen Geschwindigkeitsprofile zeigten eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung in den mittleren Zonen und etwas höhere Geschwindigkeit in der Randnähe. Dies zeigten auch Simulation sowie die Filmaufnahmen mit Färbemittel Uranin und Kunststoffgranulat. Nach der Filterspülung und unmittelbaren Einsetzen des Filterbetriebs wurde das Filterbett optisch begutachtet und festgestellt, dass das Filterbett in den Ecken ca. ein bis zwei Zentimeter höher lag als vor der Spülung.

Gründe für dieses Strömungsprofil können die Zulauf-Geometrie und die Höhe des Spülkastens sein. Dadurch, dass der Zulauf von der Seite in den Spülkasten führt, verläuft die Strömung zunächst horizontal. Dann prallt die Strömung an die Rückwand und verteilt sich nach oben, und zu Seiten in die Ecken. Somit nimmt die Strömung theoretisch zuerst in den Ecken und an der Außenwand einen vertikalen Verlauf an.

Während der Versuche wurde festgestellt, dass sich die dünne Stüttschicht aus grobem Sand nach 20 Spülungen nicht mehr zu erkennen war (s. CD 1: Versuche mit Filtermaterial, Braunkohlekoks aufgefüllt, Filter 11, 13). In der Praxis war später gleiches Phänomen zu beobachten. Dabei hat es zu keinerlei Düsenverstopfungen gekommen. Offenbar ist durch die optimierten Düsengeometrie eine zusätzliche Stüttschicht überflüssig.

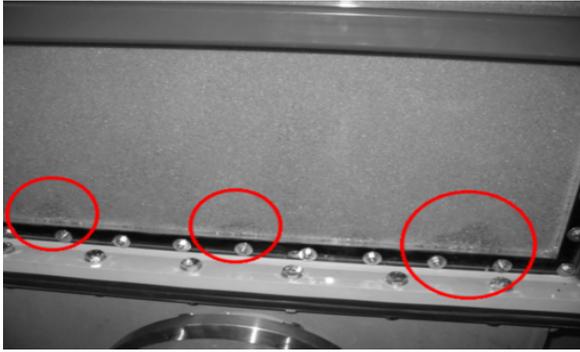


Abb. 3.19: Auflösen der Stützsicht

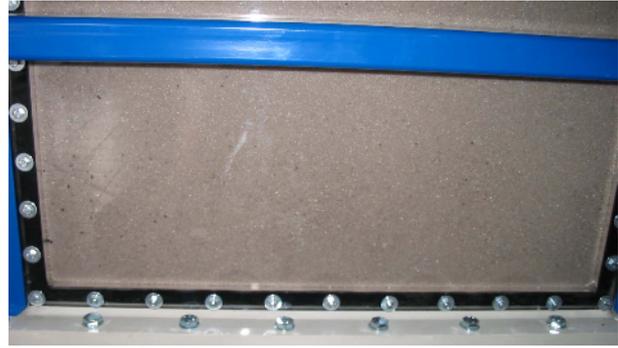


Abb. 3.20: Komplett aufgelöste Stützsicht

In dem Film war außerdem zu sehen, dass zwischen den einzelnen Düsen eine geringere Strömung herrschte. So kam es dort zur Verwirbelungen, die das Sand mitgerissen haben (s. auch Abb. 3.19Abb. 3.20). Bei der Entleerung des Filters konnte beobachtet werden, dass sich die Stützsicht nicht nur am Rand sondern über die komplette Filterfläche aufgelöst hatte.

3.3 Visuelle Untersuchungen der Filterspülung im Realbetrieb

3.3.1 Ziel

In dem vorliegenden Projektabschnitt sollten die Strömungsverhältnisse eines Captura-Filters dem herkömmlichen Druckfilter gegenübergestellt werden. Hierfür wurde eine Druckfilteranlage unter realen Bedingungen im Schinkelbad der Stadt Osnabrück auf visueller Ebene untersucht. Zu beobachten war insbesondere die Filterspülung und die Veränderungen im Filterbett.

3.3.2 Filmaufnahme

Zum näheren Vergleich der Spülung eines herkömmlichen Druckfilters und eines Captura-Filters wurden in dem Schinkelbad mehrere Filmaufnahmen gemacht. Der Captura-Filter wurde hierzu als Pilotanlage im Kreislauf „Kleinkinderbecken“ installiert. Die Versuchsanlagen sind in Abb. 3.21 und Abb. 3.22 dargestellt.



Abb. 3.21: Captura im Schinkelbad



Abb. 3.22: gefilterter Druckfilter im Schinkelbad

Gefilmt wurde nur der Druckfilter. Bei dem Captura-Filter wurden ausreichend Film-

material aus den früheren Untersuchungen (s. Kapitel 3.2) gesammelt. Für die optimalen Lichtverhältnisse, wurde das Sichtfenster mit einem Strahler angeleuchtet. Um Spiegelungen zu vermeiden wurde das direkte Licht des Strahlers durch ein dunkles Stoff und Pappe abgeschirmt.

Die Videokamera war auf einem Stativ im oberen Fensterbereich positioniert (Abb. 3.23) und auf diese Weise die Spülung aufgenommen.

Das Filmmaterial wurde anschließend mit dem Programm Adobe Premiere



Abb. 3.23: Aufbau für die Filmaufnahmen

digitalisiert, geschnitten und komprimiert.

3.3.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind auf Filmen festgehalten und im Anhang beigefügt. Zur Verdeutlichung der einzelnen Spülschritte werden diese in Skizzen (Abb. 3.24- Abb. 3.33) dargestellt.

Schon während dem Aufbau der Videokamera konnten erste Beobachtungen gemacht werden. Das Filterbett des Druckfilters war sehr aufgeworfen. Sichtbar war eine starke Erhöhung des Braunkohlekoks unter dem Trichter (Abb. 3.24, Film R1, CD 2). Zum Filterrand stieg die Anhäufung von Braunkohlekoks wieder an. Die Filterspülung begann mit der Absenkung des Wasserspiegels (s. Abb. 3.25). Mit der anschließenden Luftspülung (s. Film R2 und Abb. 3.26) wurde das Filterbett aufgelockert und die Verwerfungen wieder ausgeglichen. Nach der Luftspülung setzte nach einer kurzen Entlüftungspause (Film R3, Abb. 3.27) die Wasserspülung (Abb. 3.28) ein. Das Filterbett wurde dabei fluidisiert und ausgedehnt. Nachdem der Filter gereinigt wurde, setzte wieder die Filtration ein (Abb. 3.29).

In Film R4 ist die Schaumentwicklung zu beobachten. In allen Filmen ist eine Haaransammlung sichtbar, die von dem Trichter herunterhängt. Diese ließ sich auch durch die Spülung nicht entfernen.

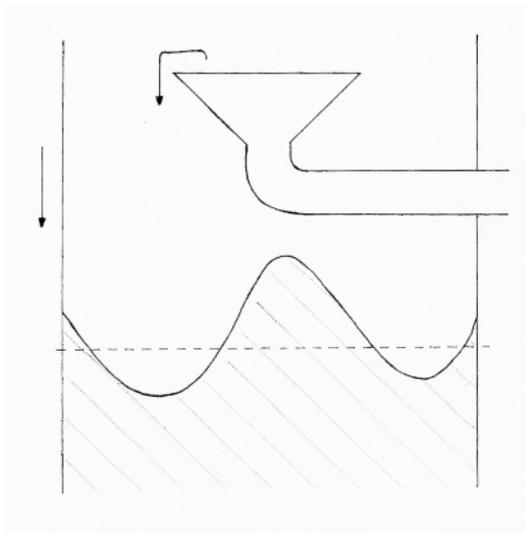


Abb. 3.24: Prinzip der Filtration mit einem Druckfilter

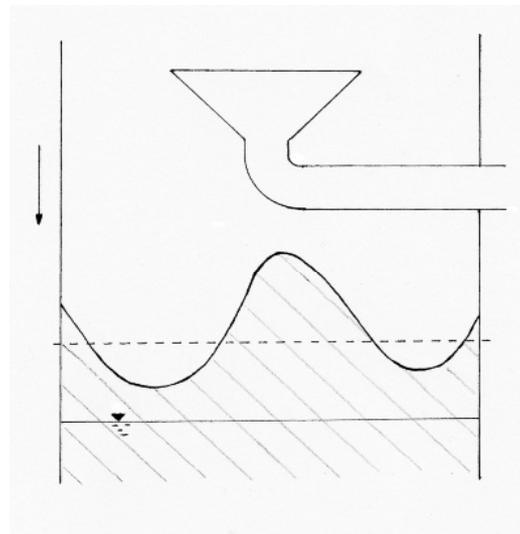


Abb. 3.25: Absenkung des Wasserspiegels

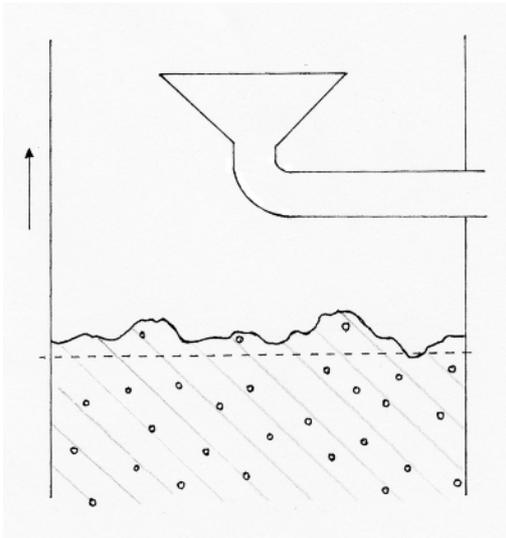


Abb. 3.26: Luftspülen des Druckfilters

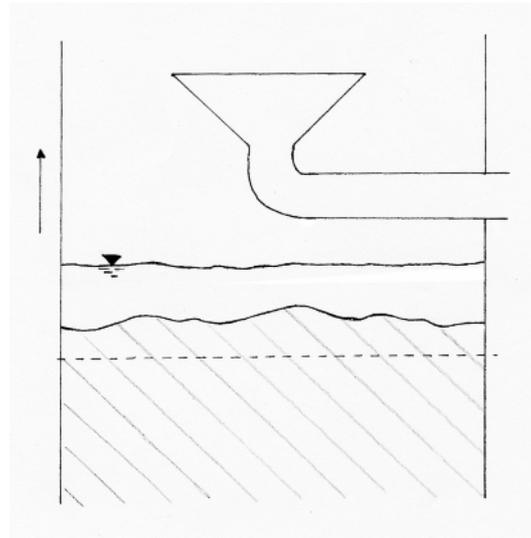


Abb. 3.27: Beginn der Wasserspülung beim Druckfilter

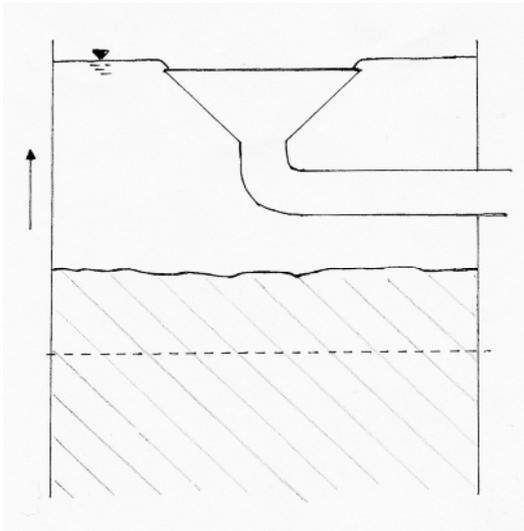


Abb. 3.28: Wasserspülung des Druckfilters

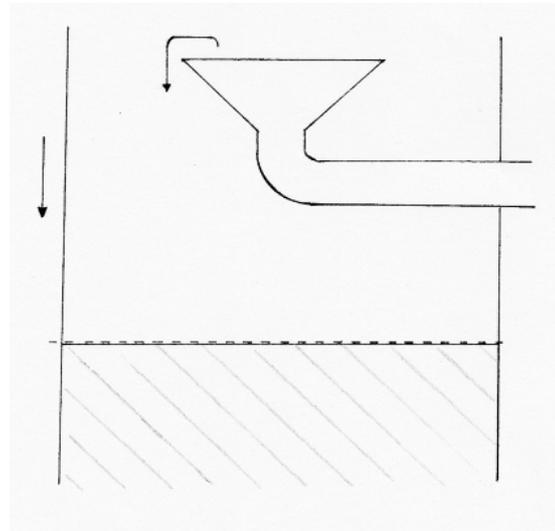


Abb. 3.29: Anschließende Filtration des Druckfilters

Beim Captura dagegen blieb das Filterbett während der Filtration (Abb. 3.30) immer eben. Dies war besonders gut nach der Wasserabsenkung (Abb. 3.31) zu erkennen. Alle Spülschritte der Captura-Filter werden wie bei den Druckfilter gemäß der DIN-Vorschrift ausgeführt. Verändert wurden lediglich die Spülzeiten und die Spülwassermenge.

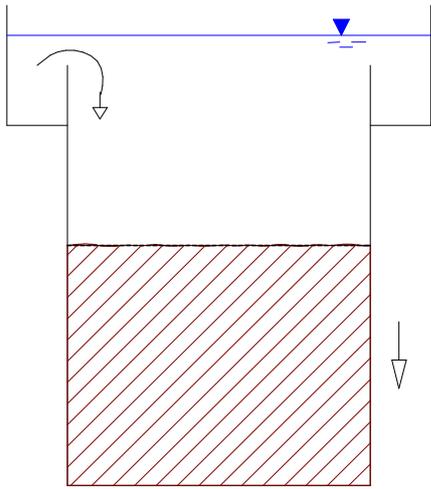


Abb. 3.30: Filtration beim Captura

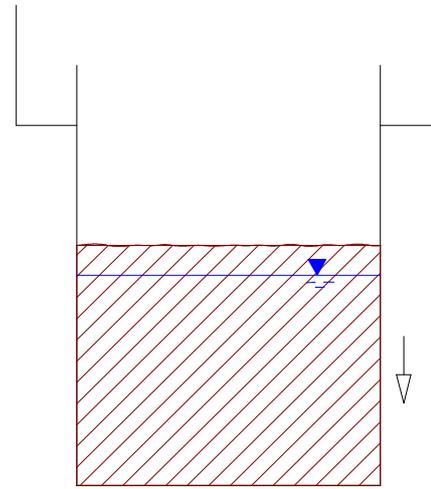


Abb. 3.31: Wasserabsenken beim Captura

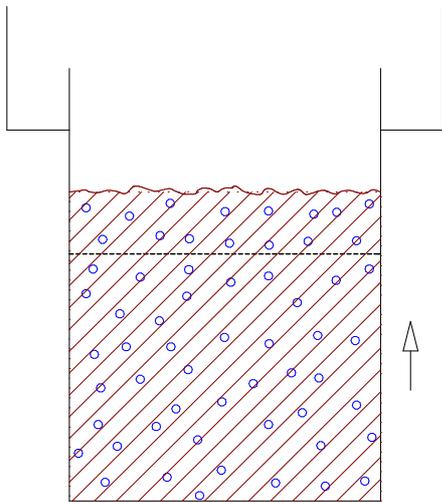


Abb. 3.32: Luftspülen beim Captura

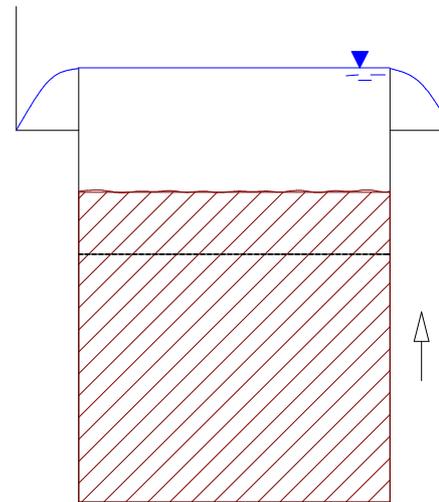


Abb. 3.33: Wasserspülen beim Captura

3.3.4 Diskussion

Der auffälligste Unterschied zwischen dem Druckfilter und dem Captura sind die starken Filterbettverwerfungen in dem Druckfilter während der Filtration. Diese sind komplett auf die Einströmart zurückzuführen. Durch den fest eingebauten Trichter wird das Wasser in der generellen Strömung abgelenkt. Die Strömung ist in der Nähe des Trichters stark gebündelt, wo es dann auch zu höheren Geschwindigkeiten kommt. Diese Strömung beeinflusst das Filterbett. Während sich unter dem Trichter Braunkohlekoks angesammelt hat, war um den Trichterrand der niedrigste Filterbettstand zu erkennen.

Durch diese stark variierende Filterbetthöhe wird das Badewasser unterschiedlich gefiltert. Dies kann sich auf die generelle Wasserqualität auswirken.

An den festen Einbauten im Druckfilter kann sich Schmutz sammeln, der als Nährboden für Keime und Bakterien dienen kann. Diese Einbauten sind im Captura-Filter nicht vorhanden.

Durch die kleine Ablaufkante des Ablauftrichters müssen die Druckfilter mit mehr Wasser gespült werden, um allen Schmutz zu entfernen. Beim Captura wird dafür weitaus weniger Wasser benötigt. Der Captura ist somit sparsamer im Spülwasserverbrauch, wie auch in der Spülzeit. Dadurch wird zusätzlich Energie eingespart.

Die durchgeführte Untersuchung zeigt, dass die Captura-Filter bei der Spülung gleichmäßiger und besser durchgeströmt werden als die Drucksandfilter. Dadurch wird ein besserer Schmutzaustrag gewährleistet.

3.4 Untersuchung des Captura-Filters an einer Pilotanlage mit einer genormten sowie einer reduzierten Filterbetthöhe.

3.4.1 Ziel

Ziel dieser Untersuchung war es, Erkenntnisse über die Adsorptionsleistung und Keimbildung innerhalb des Captura Filters bei 100 %-iger sowie auf 75 % reduzierten Filterbetthöhe im Realbetrieb zu gewinnen. Dies galt sowohl für die Filtration, wie auch für die Spülung. Hierzu waren in den verschiedenen Filterschichten Proben vor, während und nach dem Spülen zu entnehmen und zu untersuchen. Als Pilotanlage diente die beschriebene Captura-Anlage im Schinkelbad aus dem Kapitel 3.3 . Eine Gefährdung für die Badegäste sollte durch ständige Kontrolle der Wasserqualität ausgeschlossen werden.

3.4.2 Prüfparameter

Um eine Aussage über die Adsorptionsleistung, Keimbildung und die Entwicklung der weiteren Versuchsparameter treffen zu können, wurde zuerst ein Probenplan erstellt. Festzuhalten war, welche Parameter untersucht werden und wie viele Proben entnommen werden. Des Weiteren war zu beachten, dass die Filterleistung konstant bleibt.

In Absprache mit den Stadtwerken Osnabrück, mit der Firma Aquila und mit der Fachhochschule Osnabrück wurden folgende Parameter als zwingend notwendig für die Untersuchung bestimmt:

Chemische Versuchsparameter

- Trübung
- Redoxspannung
- pH-Wert
- freier Chlorgehalt
- gebundener Chlorgehalt
- Temperatur

Parameter der mikrobiologischen Untersuchung

- Koloniebildende Einheiten (KBE) bei 20°C
- Koloniebildende Einheiten (KBE) 36°C
- Escherichia coli
- Coliforme Keime

Die Trübung wurde mit dem Spektralphotometer CADAS 100, der Firma DR Lange im Labor für Verfahrenstechnik der Fachhochschule Osnabrück bestimmt. Als Nulllösung wurde das Brunnenwasser verwendet. Eine Extinktion kleiner null ist möglich gewesen, da auch im Brunnenwasser Schwebstoffe enthalten sein können.

Das freie sowie das gebunden Chlor wurde im Schinkelbad nach dem DPD Verfahren photometrisch ermittelt. Dabei wurde nach dem Zusatz der speziellen Tabletten, die Änderung der Trübung gegenüber einer Nullprobe bestimmt. Die Nullprobe war in diesem Fall das Beckenwasser. DPD No.1- und DPD No.3 Tabletten wurden von der Firma Tintometer GmbH hergestellt und vertrieben.

Mit der DPD No.1 - Tablette bestimmte man zunächst das freie Chlor, Die Tablette No. 1 enthält **Diethyl-p-phenyldiamin**, welches durch das freie Chlor zu einem roten Farbstoff oxidiert. Hierzu wurde eine saubere Küvette mit dem zu untersuchenden Wasser gespült. Einige Tropfen wurden in der Küvette zurückgelassen. Die DPD No.1 - Tablette wurde zugegeben und zerfiel bzw. wurde mit einem sauberen Rührstab zerdrückt; anschließend wurde sie bis zur 10 ml Marke aufgefüllt, der Küvettendeckel aufgesetzt, die Probe durch Schwenken vermischt und der Wert sofort gemessen.

Mit der DPD No.3 - Tablette bestimmte man den Gehalt an Gesamtchlor:

Nach Ablesung des Messergebnisses (freies Chlor) wurde die Probe in eine zweite, saubere Küvette umgefüllt, eine DPD No.3 - Tablette zugegeben, Deckel aufgesetzt, die Probe durch Schwenken vermischt und das Messergebnis zwei Minuten nach Zugabe der DPD No.3 - Tablette abgelesen.

Zieht man vom Gesamtchlor den vorher abgelesenen Wert für freies Chlor ab, erhält man den Gehalt an gebundenem Chlor.

Die DPD No.3 - Tablette enthält Kaliumiodid, welches bereits in geringster Konzentration die Bestimmung des Gesamtchlors ermöglicht. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Bestimmung von freiem - und Gesamtchlor in verschiedenen Küvetten vorzunehmen. Die Küvetten und Deckel sollten gekennzeichnet sein und ausschließlich für die jeweilige Bestimmung verwendet werden.

Wird dieser Verfahrensvorschrift keine Aufmerksamkeit geschenkt, können anhaftende Spuren von Reagenz - DPD No.3 - bei einer anschließenden Messung des freien Chlors in ein und derselben Küvette einen zu hohen Gehalt dieser Chlorform vortäuschen, und zwar zu Lasten des Gesamtchlors.

Die Messungen des freien und gebundenen Chlors wurden von dem Schwimmbadtechniker durchgeführt.

Für die mikrobiologischen Untersuchungen wurde die Gesellschaft für Umweltanalytik (GUA) beauftragt.

Der hygienische Zustand des Badewassers sollte nicht nur während der Probenahme, sondern rund um die Uhr überwacht werden. Hierzu konnten die Hygiene-Hilfsparameter freies Chlor, Redox-Spannung und pH-Wert jederzeit von der Mess- und Regelungsanlage abgelesen werden. Sie wurden dann im Rahmen der betriebs-eigenen Kontrolle von dem Schwimmbadtechniker durch Handmessungen überprüft.

3.4.3 Probeentnahmeplan

Um den Filterprozess anhand von entnommenen Proben beschreiben zu können, wurden jeweils vor, während und nach dem Spülen Proben entnommen. Insgesamt gab es sechs Probeentnahmestellen. In Abb. 3.34 sind die Entnahmestellen schematisch gekennzeichnet.

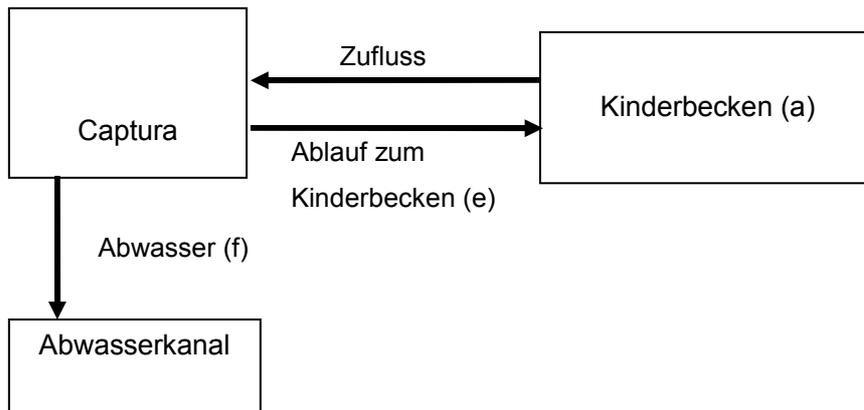


Abb. 3.34: Aufbauskitze des Filters mit den Entnahmestellen a, e und f

Die erste Probe (a) wurde direkt aus dem Kleinkinderbecken entnommen. Die zweite Entnahmestelle (b) befand sich im Filter in einer Höhe von 0,82 m über dem Düsenboden, In dieser Höhe lag die Braunkohlekoksschicht vor (vgl. Abb. 3.35 und Abb. 3.36). Die dritte Entnahmestelle (c) war in einer Höhe von 0,42 m über dem Düsenboden in der Quarzsandschicht angebracht. Die vierte Entnahmestelle (d) befand sich direkt unter dem Düsenboden. Die fünfte Entnahmestelle (e) lag unterhalb des Düsenbodens, bereits im Ablauf zum Becken.

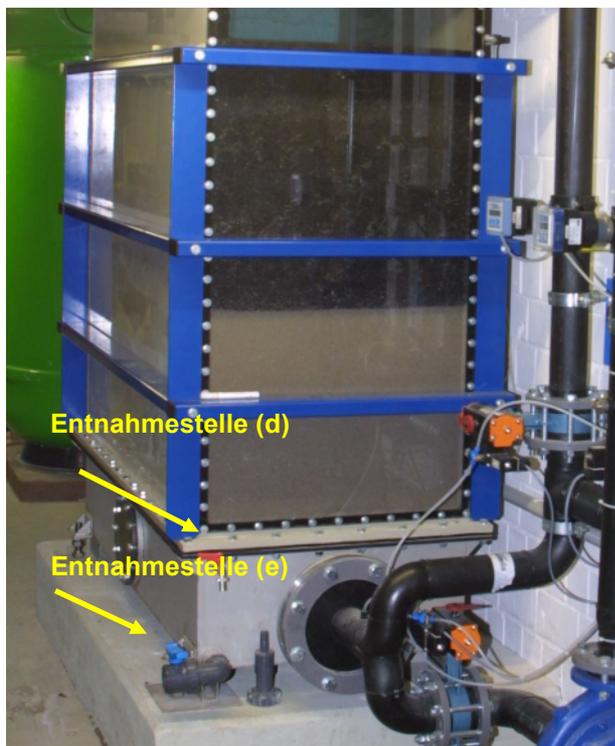


Abb. 3.35: Entnahmestellen (d) und (e)



Abb. 3.36: Entnahmestelle (b) und (c)

Die sechste Entnahmestelle (f) war im Ablauf der Schlammwasserleitung angeordnet. Das Schlammwasser wurde durch Spülen gegen Filterrichtung nach oben gedrückt und floss dann über ein Leitungssystem in einen Pumpensumpf. Dort trat das Abwasser als Freistrah aus und es konnten die Proben (f) entnommen werden. Während des Spülvorgangs wurden die Proben f_A , f_M und f_E entnommen. Die Buchstaben A, M und E stehen für Anfang, Mitte und Ende des Spülprozesses. Sie wurden während der Wasserspülung entnommen.

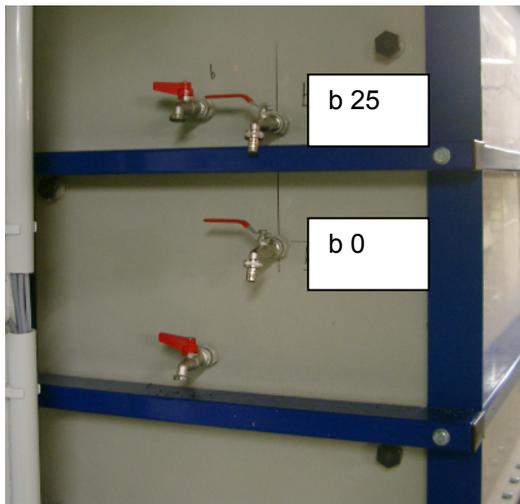


Abb. 3.37: Probeentnahmestellen bei einer reduzierten Filterbetthöhe

Bei den anschließenden Versuchen wurde die Braunkohlekoksschicht auf die Hälfte reduziert und an der Entnahmestelle b zwei neue eingerichtet:

b 25. Im Filter bei einer Höhe von 0,77 m

b 0. Im Filter bei einer Höhe von 0,58 m

Zu jeder Probenentnahme wurden Datum und Zeit beigefügt.

3.4.4 Sterilisation der Materialien

Um die Proben sinnvoll untersuchen und auswerten zu können war es wichtig, dass die Ablassschläuche und die Probenhähne sterilisiert wurden. In Absprache mit der Gesellschaft für Umweltanalytik (GUA) und den Stadtwerken Osnabrück wurden sterile Probenflaschen benutzt, die die GUA zur Verfügung gestellt hat. Diese Flaschen waren mit einigen ml Thiosulfat gefüllt. Das Thiosulfat verhinderte eine weitere Reaktion des freien Chlors.

Die Aufgabe der Fachhochschule Osnabrück war die Sterilisation der Ablassschläuche und -hähne. Beim Versuch die Ablassschläuche im Autoklaven zu sterilisieren

hat sich herausgestellt, dass die kunststoffhaltigen Schläuche die Hitze nicht vertragen. Aus diesem Grund wurden die Schläuche mit Ethanol (70%) sterilisiert.

3.4.5 Probenentnahme

Der Captura-Filter im Schinkelbad in Osnabrück wird in der Regel zweimal in der Woche gespült. Die erste Spülung findet montags um 5.45 Uhr und die zweite Spülung findet freitags um 5.45 Uhr statt. Proben wurde an den folgenden Tagen genommen.

- Montag, den 24.01.05
- Freitag, den 28.01.05
- Montag, den 31.01.05
- Donnerstag, den 03.02.05
- Montag, den 07.02.05
- Freitag, den 11.02.05
- Montag, den 14.02.05

Die Probenentnahme lief wie folgt ab:

Bevor die ersten Proben aus dem Filter entnommen wurden, wurden die Ablassschläuche und -hähne mit Ethanol (70%) sterilisiert.

15 Minuten vor dem Beginn des Spülvorganges wurden die Proben (V/ Tag/ Monat/ Jahr/ Probenstelle) entnommen. Dabei wurde bei jeder Probeentnahmestelle erstmal ca. 1 l Filterwasser in die Kanalisation geleitet. Damit sollten Keime, die sich in möglichen Totzonen befinden, entsorgt werden. Diese Keime würden das Ergebnis verfälschen. Parallel wurden von den Proben die Temperatur, der pH-Wert und durch den Schwimmbadtechniker der freie, gebundene und gesamte Chlorgehalt bestimmt.

Kurz vor dem Starten des Spülvorganges wurden die Ablassschläuche erneut sterilisiert. Nachdem die Luftspülung beendet und das überstehende Wasser abgelassen wurde, wurde der Filter mit ca. 2 m³ je m² Filterfläche gespült und dabei die Proben (B/ Tag/ Monat/ Jahr/ Probenstelle) entnommen. Auch in diesem Fall wurde ca. 1l Filterwasser an jeder Probenstelle in die Kanalisation geleitet. Die Temperatur und der pH-Wert wurden parallel bestimmt. Aus zeitlichen Gründen war es nicht möglich Proben zu entnehmen, um die Chlorgehalte zu bestimmen. Der Spülvorgang war beendet, wenn 2 m³ Brunnenwasser gegen die Filterrichtung durch den Filter

gelaufen sind. Die Zeit betrug ca. 2,5 Minuten. Dies ergab eine Spülgeschwindigkeit von ca. 50 m/h. Das Filterbett wurde zu ca. 20 % während der Spülung ausgedehnt. In der DIN 19643 sind 10 % als Untergrenze vorgegeben.

Nach Beendigung des Spülvorgangs wurde der Filterprozess wieder gestartet. Nach 20 Minuten wurden die Ablassschläuche erneut sterilisiert und an jeder Probenentnahmestelle ca. 1 l in die Kanalisation geleitet. Im Anschluss wurden die Proben entnommen. Von diesen Proben wurden die Temperatur und der pH-Wert bestimmt. Des Weiteren wurde durch den Schwimmbadtechniker der freie, der gebundene und der gesamt Chlorgehalt bestimmt. Die Proben für die mikrobiologischen Untersuchung wurden in einer mit Eis gefüllten Kühlbox gelagert.

3.4.6 Ergebnisse beim Filterbetrieb mit 100% Filterhöhe

Die aufgenommenen Messwerte für jeden Versuchstag sind im Anhang (Kapitel 13.2) tabellarisch dargestellt. Nachfolgend werden die wichtigsten Daten in Diagramme übertragen und ausgewertet.

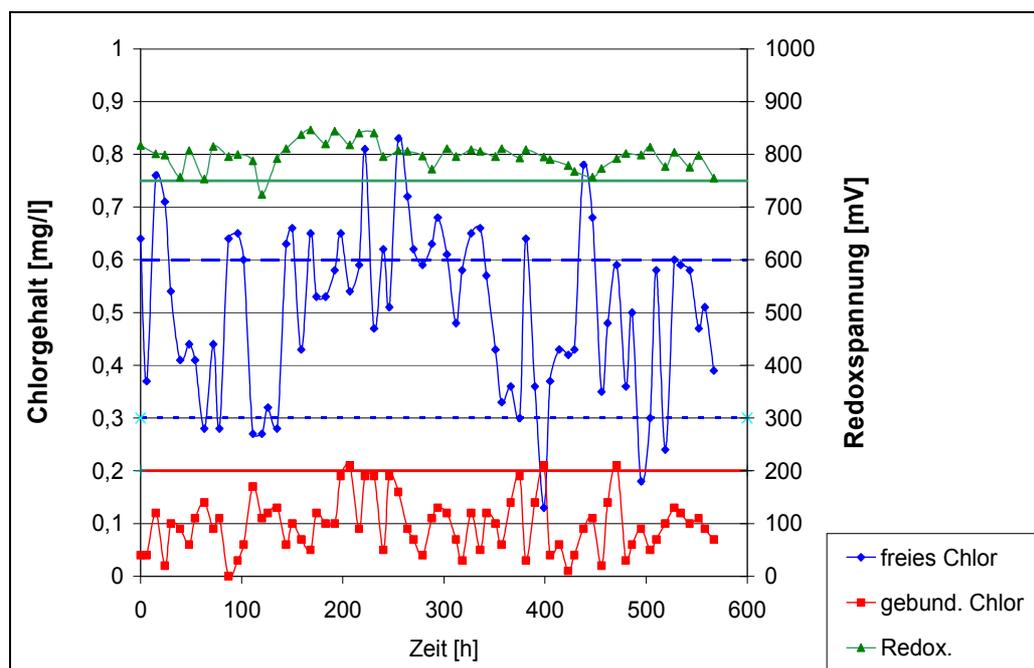


Diagramm 3.9: Hygiene-Hilfsparameter im Babybecken beim Betrieb mit 100% Filterbetthöhe

Während der Versuche sollten im Babybecken eine einwandfreie Wasserqualität gewährleistet werden. Die von den Schwimmbadtechnikern aufgenommenen Hygiene-Hilfsparameter des Beckenwassers sind in Diagramm 3.9 und Diagramm 3.10 dargestellt. Im Diagramm 3.12 ist zu sehen, dass der Indikator für organische Verunreinigungen - das gebundene Chlor - sicher eingehalten bleibt. Nur bei drei Messwerten

kommt es zu einer minimalen Überschreitung von 0,01 mg/l, welche zu vernachlässigen ist. Das hohe Redox-Potential deutet ebenfalls auf sauberes Wasser und somit einen gut funktionierenden Filtrationsvorgang hin. Bei dem pH-Wert, der Redox-Spannung und dem freien Chlor kommt es nur gelegentlich zu geringfügigen Abweichungen von den DIN-Anforderungen. Dass es hierbei um recht schwankende Messwerte handelt, ist auf die Regelungsanlage zurückzuführen.

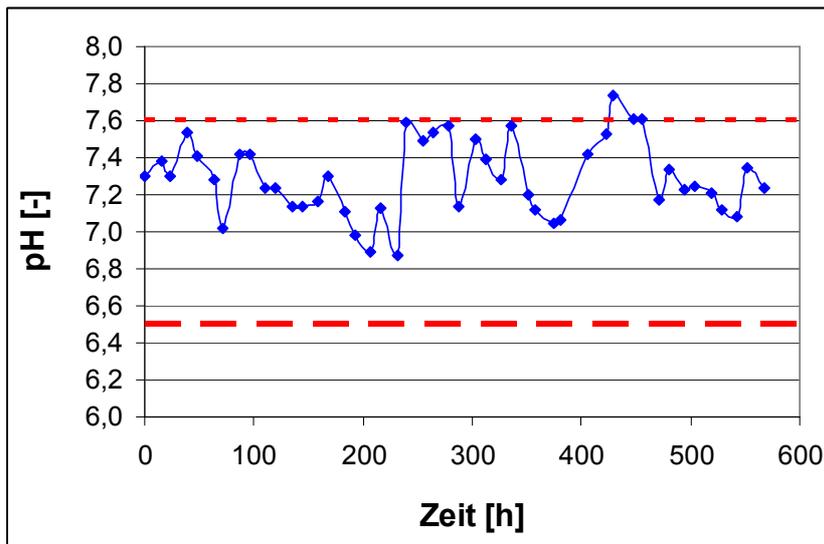


Diagramm 3.10: pH-Wert im Babybecken während der Versuche mit 100% Filterbetthöhe

Im Folgenden wird auf die eigentlichen Versuchsergebnisse - die Filterspülung – eingegangen.

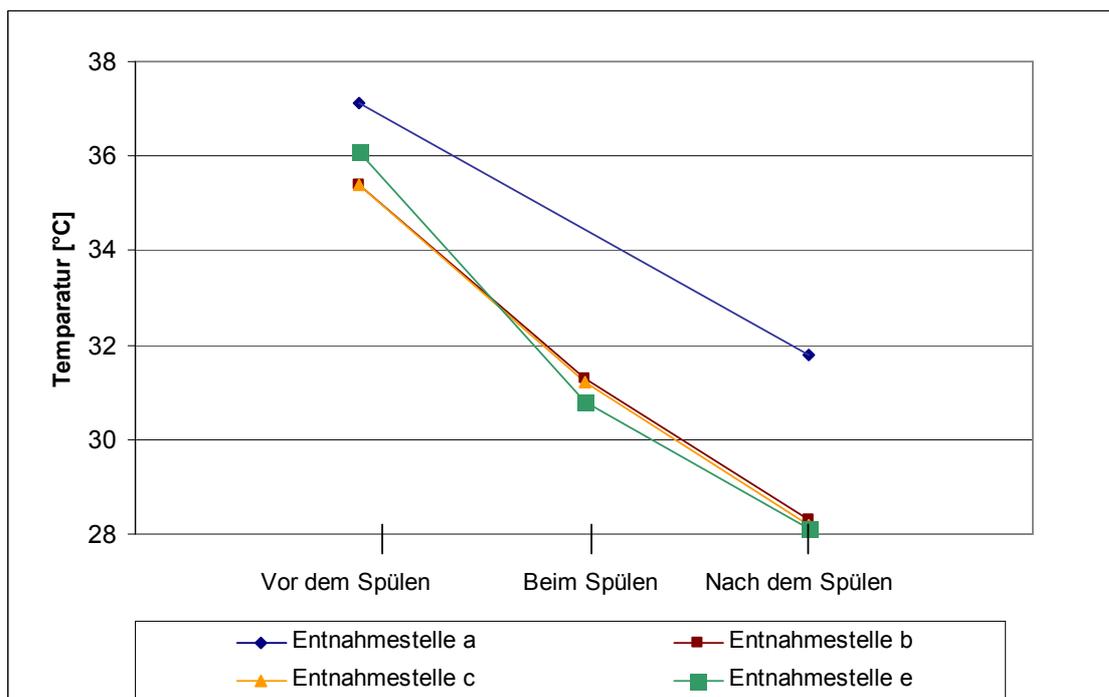


Diagramm 3.11: exemplarischer Temperaturverlauf während des Spülvorgangs (24.01.05)

Diagramm 3.11 zeigt den Temperaturverlauf während des Spülvorgangs an den einzelnen Probeentnahmestellen. Als Quelle für das Diagramm dienen die Daten vom 24.01.05. An den anderen Versuchstagen ist ein ähnlicher Temperaturverlauf zu erkennen (Tabelle 13.1 - Tabelle 13.7). Da der Filter mit kaltem Frischwasser gespült wird, nimmt die Temperatur während des Spülvorgangs an den einzelnen Entnahmestellen ab. Unmittelbar nach der Spülung wird das Erstfiltrat dem Filtrationskreislauf zurückgeführt. In Folge der Verdünnung mit kaltem Erstfiltrat fällt die Beckenwassertemperatur von ca. 37°C auf ca. 32 °C ab, erreicht im weiteren Betrieb jedoch schnell seinen Sollwert. Die Spülung wird im Schinkelbad außerhalb der Öffnungszeit ausgelöst, so dass die hierbei auftretenden Temperaturschwankungen im Kleinkinderbecken für das Wohlbefinden der Badegäste keine Rolle spielen.

Das Diagramm 3.13 zeigt das Verhalten des freien Chlorgehalts vor und nach dem Spülen an den einzelnen Entnahmestellen. Die Konzentration im Becken hängt mit der Reinigungsleistung des Filters nicht zusammen und wird nur durch die Mess- und Regeleinheit festgelegt. Zu vermerken sei nur, dass innerhalb des Spülvorganges die Beckendurchströmung unterbrochen wird. Das freie Chlor wird aufgezehrt und nicht wieder nachgeregelt. Wenn der Filterbetrieb wieder einsetzt, ist es selbstverständlich, dass sich der Sollwert durch die Trägheit im Regelsystem erst nach einer gewissen Zeit einstellt.

Das freie Chlor des Beckenwassers wird bei der Filtration durch die Chemisorption in den Filterschichten katalytisch zerstört. Die Restkonzentrationen im Filtrat betragen höchstens 0,03 mg/l. Wie das Diagramm 3.12 zeigt, wird der Abbau fast vollständig in der oberen Braunkohlekoksschicht erreicht. Am 24.01.05 ist gut zu erkennen, dass der Abbau an freiem Chlor nach der Spülung deutlich besser stattfindet als davor (s. auch Diagramm 3.13). Vor der Spülung sind auf der Oberfläche der Aktivkohle Verunreinigungen angelagert, die die Katalysatorfläche blockieren.

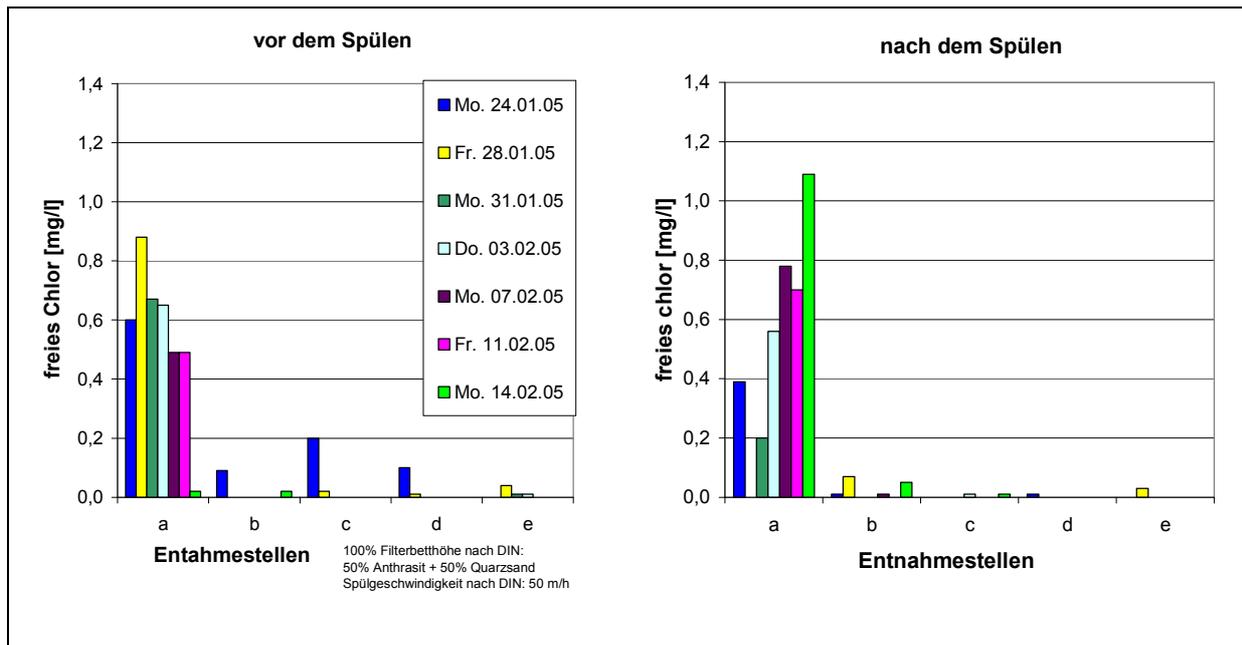


Diagramm 3.12: freies Chlor beim Filterbetrieb mit 100% Filterbetthöhe

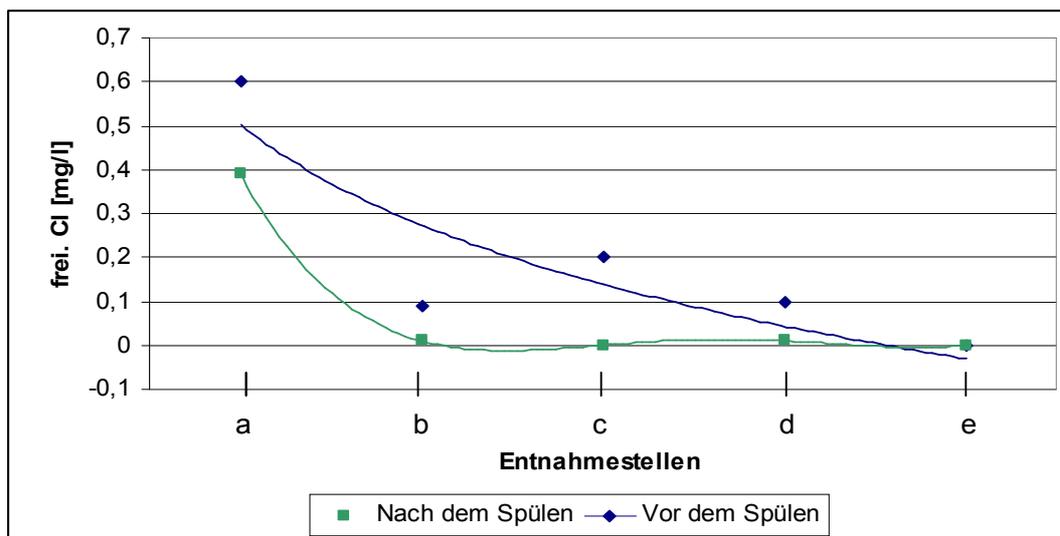


Diagramm 3.13: Verhalten des freien Chlorgehalts vor und nach dem Spülen am 24.01.05

Die Elimination von gebundenem Chlor erfolgt an Aktivkohle ebenfalls katalytisch. Als Endprodukte entstehen Chloride und Stickstoffverbindungen. Der Konzentrationsverlauf an den einzelnen Probestellen wird in Diagramm 3.14 dargestellt.

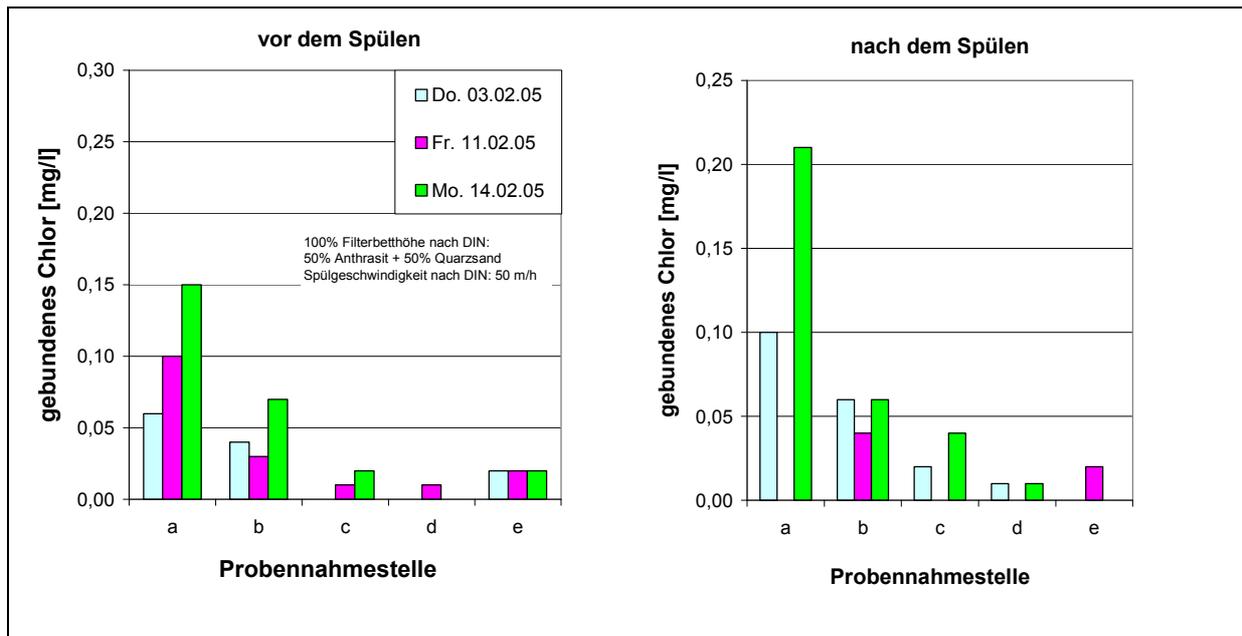


Diagramm 3.14: gebundenes Chlor beim Filterbetrieb mit 100% Filterbetthöhe

Bei zwei Messungen (24.01.05; 28.01.05) unmittelbar vor der Durchführung der Filterspülung werden innerhalb der Filterschichten viel höhere Konzentrationen an gebundenem Chlor gemessen, als es im Beckenwasser gewesen ist. Offenbar wurde gewisser Anteil an freiem Chlor an den zurückgehaltenen organischen Verschmutzungen aufgezehrt und somit das gebundene Chlor entstanden. Im Filtrat ist der Gehalt an gebundenem Chlor jedoch stets minimal unterhalb von 0,04 mg/l geblieben. Diese Entwicklung des gebundenen Chlors in den Filterschichten ist nach der vorgenommenen Filterspülung nicht zu beobachten. Wie das Diagramm 3.15 zeigt, ist der Konzentrationsverlauf nach der Spülung innerhalb des Filters bis zu dem Düsenboden hin stets abfallend. Der beinahe gesamte Abbau wird ebenfalls in der oberen Braunkohlekoks-schicht erreicht.

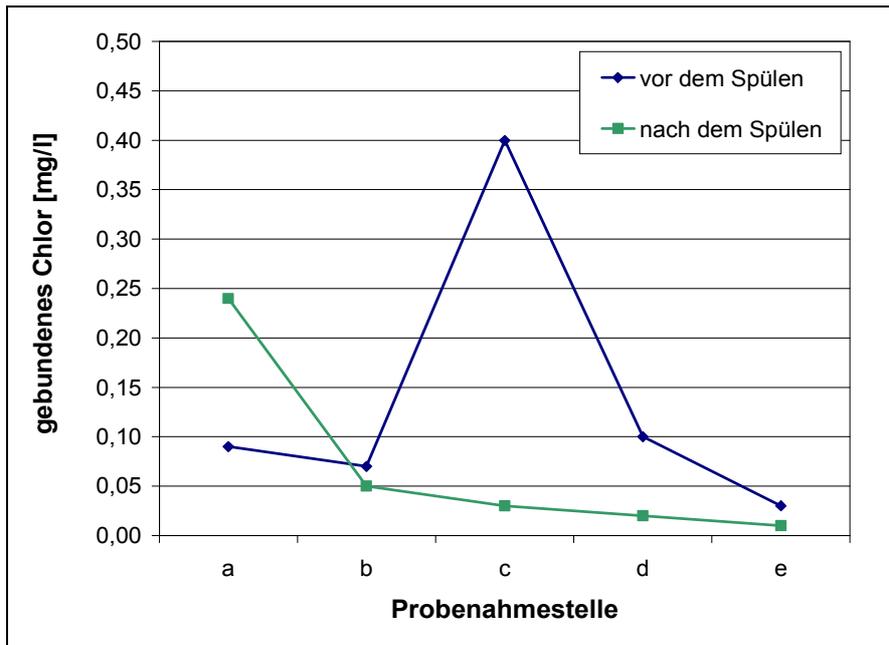


Diagramm 3.15: gebundenes Chlor vor und nach dem Spülen am 24.01.05

Das Diagramm 3.16 zeigt, wie sich die Trübung im Laufe des Spülvorgangs an der Entnahmestelle (f) im Schlammwasser abnimmt. Die Trübung ist zu Beginn der Spülung am größten und am Ende des Spülvorganges nahe zu null, das Wasser wird klar.

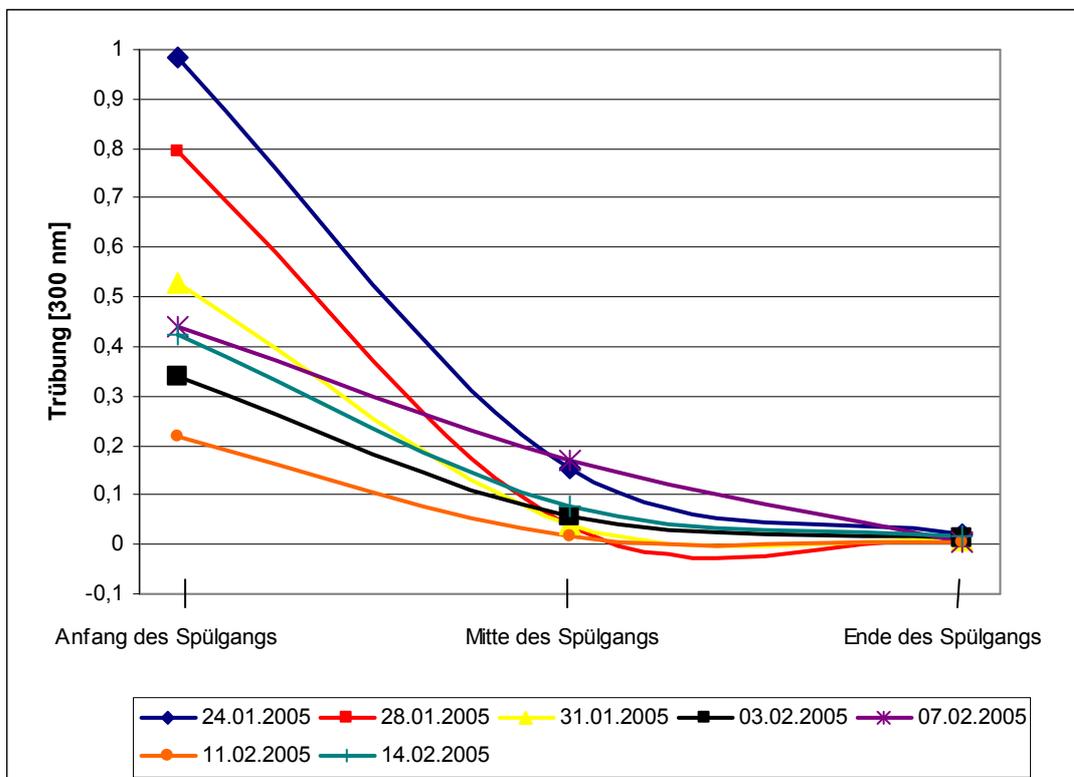


Diagramm 3.16: Verhalten der Trübung an der Entnahmestelle f während des Spülvorgangs

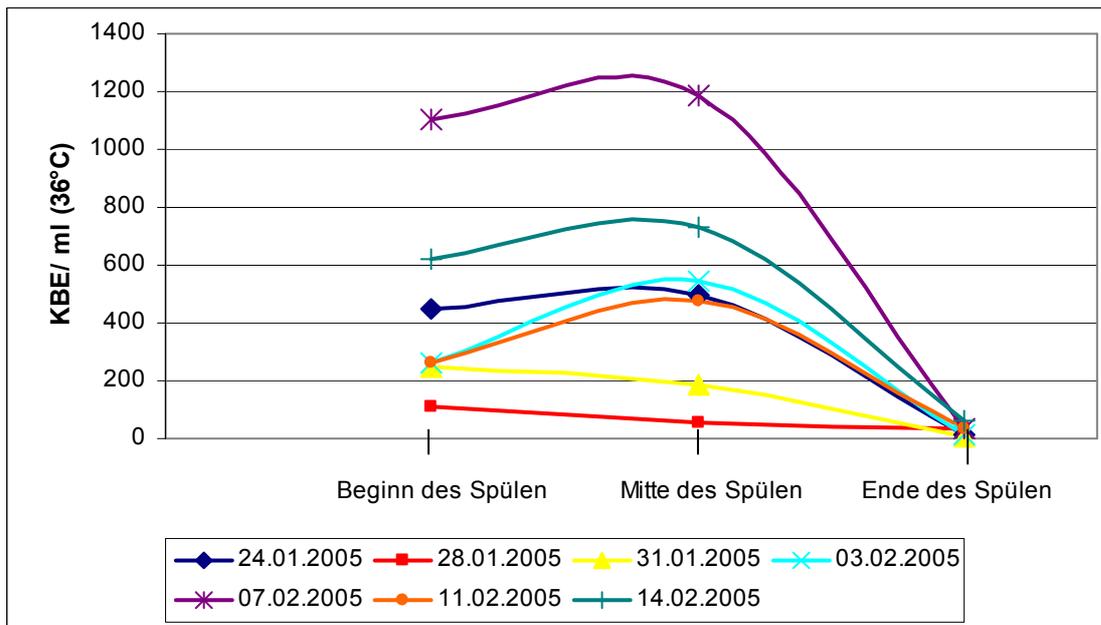


Diagramm 3.17: Entwicklung des KBE 36°C-Wertes im Laufe des Spülvorgangs an der Entnahmestelle f

Das Diagramm 3.17 zeigt die Entwicklung des KBE(36°C) -Wertes im Laufe des Spülvorgangs an der Entnahmestelle (f) an allen Versuchstagen. Zu erkennen ist ein parabolischer Kurvenverlauf. Sie steigt bis zur Mitte des Spülvorganges an und sinkt dann bis zum Ende des Spülvorganges auf einen Wert um die 50 ab. Zu beachten ist, dass der Endwert unabhängig von der Eingangsgröße immer annähernd gleich ist. Eine vollständige Keimfreiheit im Schlammwasser wird am Ende der Spülung nicht immer erreicht. Die restliche Kolonienzahl von höchstens 64 KBE/ml ist allerdings für das ablaufende Schlammwasser minimal und darf selbst im Beckenwasser vorhanden sein. Es wird in Tabelle 13.8 sowie Diagramm 3.17 deutlich gemacht, dass Bakterien mit dem Schlammwasser fast vollständig aus dem Filtermaterial ausgetragen werden, so dass das ablaufende Schlammwasser am Ende fast jeden Spülvorganges – die Ausnahme bildet hier der Messwert vom 14.02.05 mit 42 KBE/ml bei 20°C - die Beckenwasserqualität erreicht.

3.4.7 Ergebnisse beim Filterbetrieb mit 75 % Filterbetthöhe

Die Messdaten der Versuche mit einer reduzierten Braunkohlekoksschicht sind im Anhang (Kapitel 13.3) aufgelistet. Nachfolgend werden die Ergebnisse grafisch ausgewertet.

Im Diagramm 3.18 ist die Trübung des Schlammwassers während der Spülung wiedergegeben. Am Anfang und während der Spülvorganges liegt die Trübung im Vergleich zu Diagramm 3.16 bei viel kleineren Werten. Die höhere Trübung aus den vorangegangenen Untersuchungen lässt sich dadurch erklären, dass es in den ersten Betriebstagen des Captura-Filters der Braunkohlekoks noch staubig ist. Bei der Filterspülung werden die feinsten Partikel ausgewaschen und machen das Wasser schwarz. Mit jeder weiterer Filterspülung wird es immer weniger Kohlestaub. Dieser Vorgang konnte bereits im Diagramm 3.16 beobachtet werden. Mit jeder weiterer Spülung wurden am Anfang der Filterspülung immer klarer Ablauf festgestellt. Nachdem der Filter mit $2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ gespült ist, erreicht die Trübung ihr Minimum und liegt wie auch in den Versuchen mit 100% Filterhöhe fast bei null. Der Extinktionsverlauf bleibt ähnlich, d. h. das Schlammwasser wird im Laufe des Spülvorganges immer klarer.

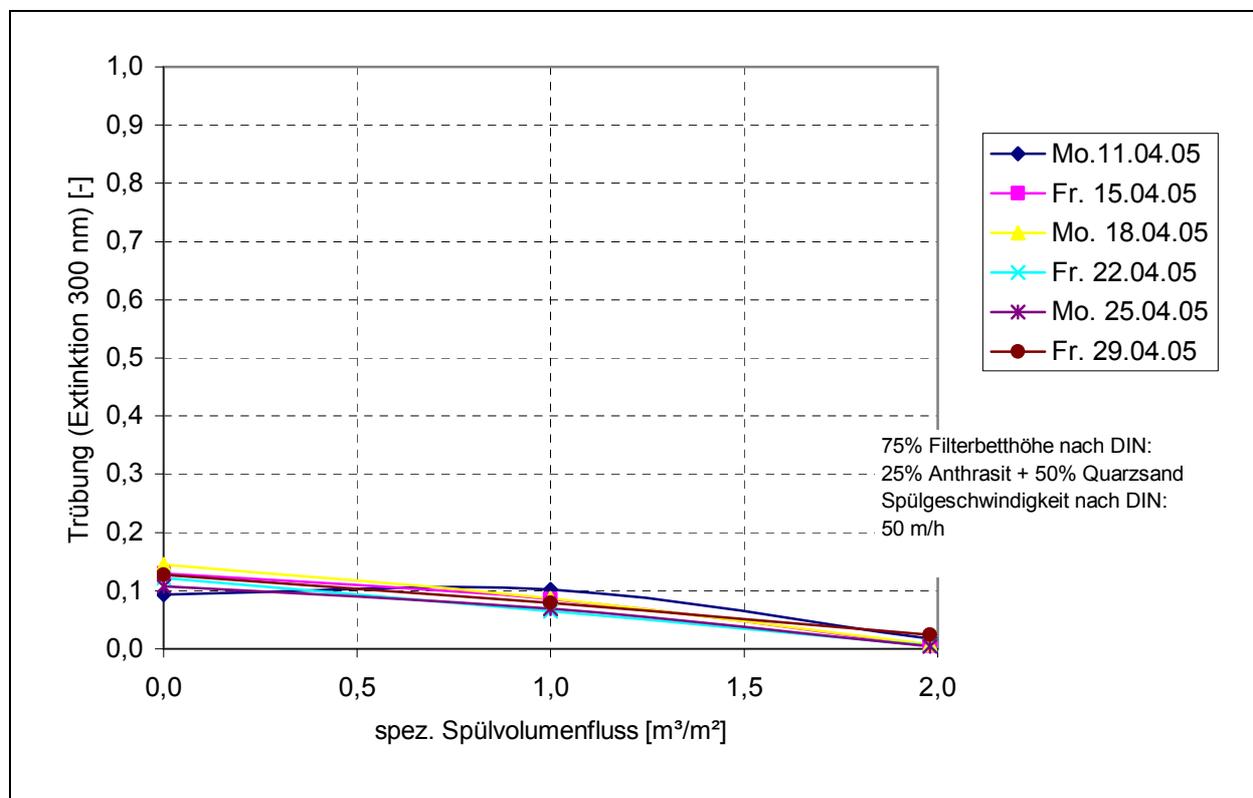


Diagramm 3.18: Verhalten der Trübung an der Entnahmestelle f während des Spülvorganges bei 75% DIN-Filterbetthöhe

Im Diagramm 3.14 ist der Gehalt an freiem Chlor vor und nach dem Spülen an verschiedenen Entnahmestellen dargestellt. Die Stelle a repräsentiert das Beckenwasser. In der DIN 19643-1 sind für den oberen Grenzwert 0,6 mg/l festgelegt, die teilweise überschritten werden. Dieser Wert ist vor dem einsetzen des Spülvorganges bei den meisten Messwerten überschritten. Hier sollte die Regelanlage nachgeregelt werden. Das freie Chlor wird im Filter bei der verminderten Braunkohlekoksschicht genauso wie bei der DIN-Ausführung fast vollständig durch die Anthrazitkohle abgebaut.

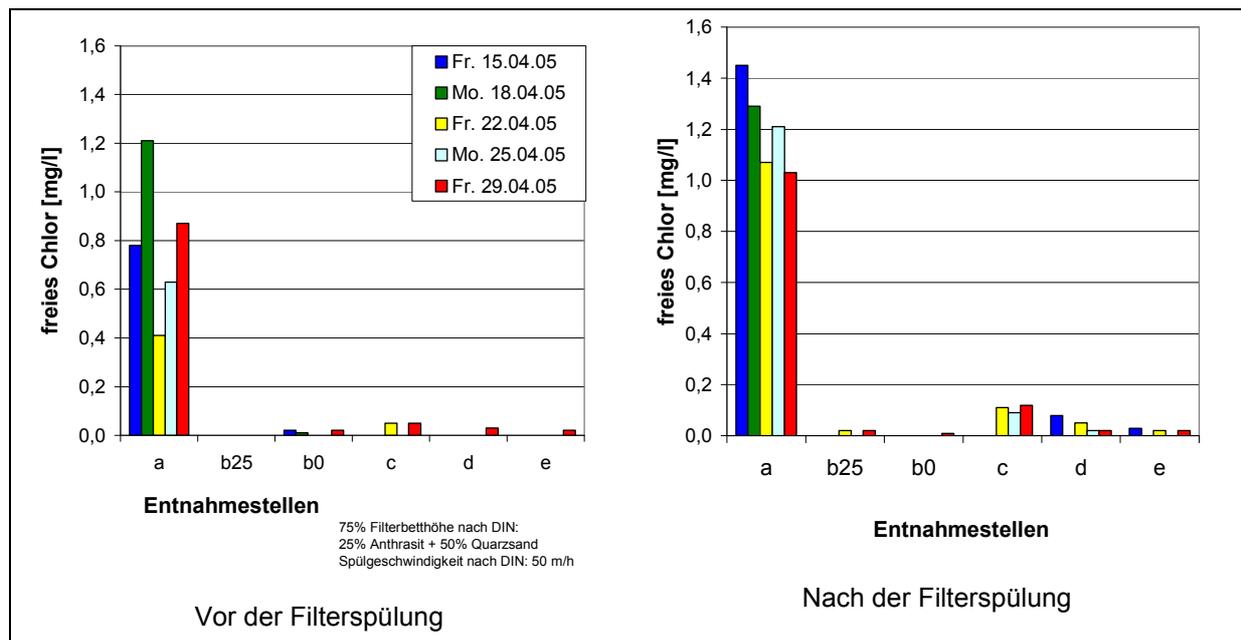


Diagramm 3.19: freies Chlor beim Filterbetrieb mit 75 % Filterbetthöhe

Die Konzentration an gebundenem Chlor bleibt stets unterhalb des DIN-Grenzwertes von 0,2 mg/l. Gleich in der Braunkohlekoksschicht wird sein Gehalt abrupt herabgesetzt.

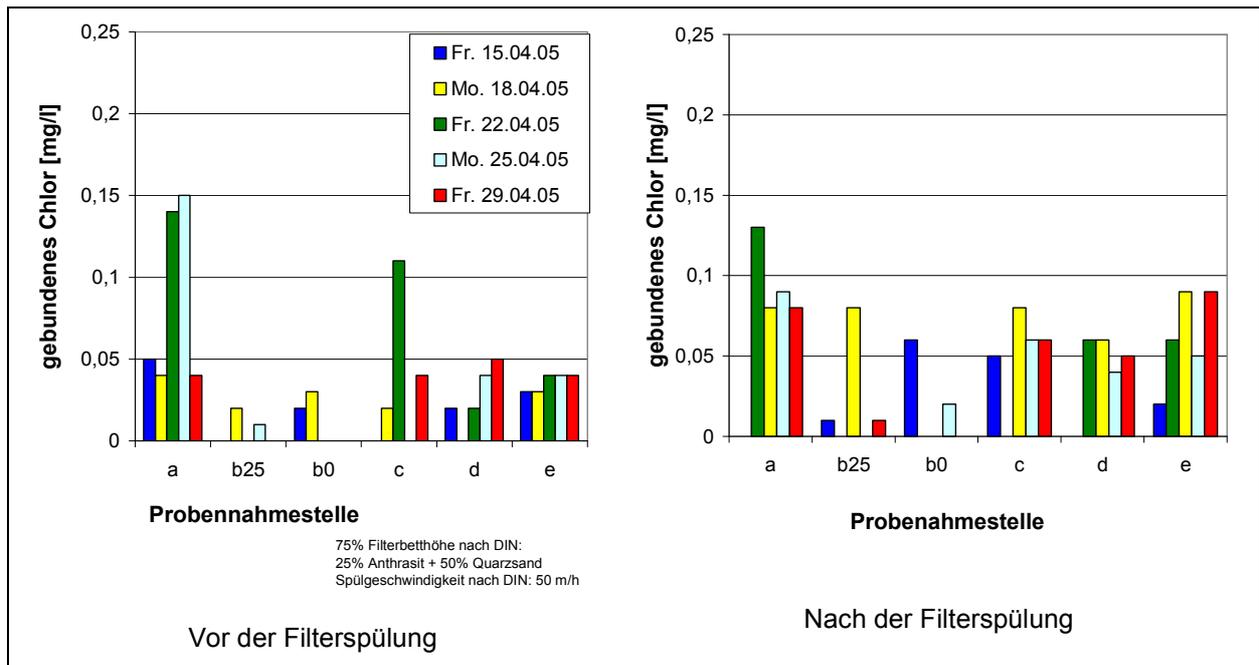


Diagramm 3.20: gebundenes Chlor beim Filterbetrieb mit 75 % Filterbetthöhe

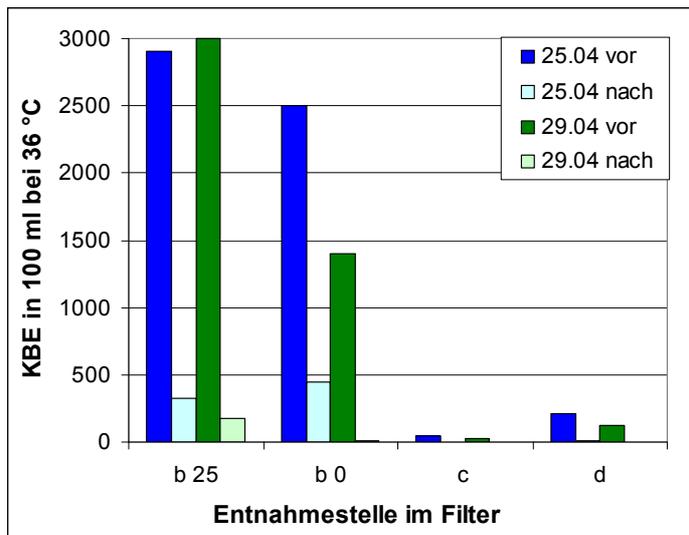


Diagramm 3.21: Mikrobiologische Belastung des Captura vor und nach der Spülung

Das Diagramm 3.21 zeigt, dass die meisten Mikroorganismen in der Braunkohlekoksschicht zurückgehalten werden. Nach der Filterspülung werden die Kolo-niebildenden Einheiten weitge-hend reduziert, so dass bereits in den Sandschichten keine oder nur wenige Keime ankommen.

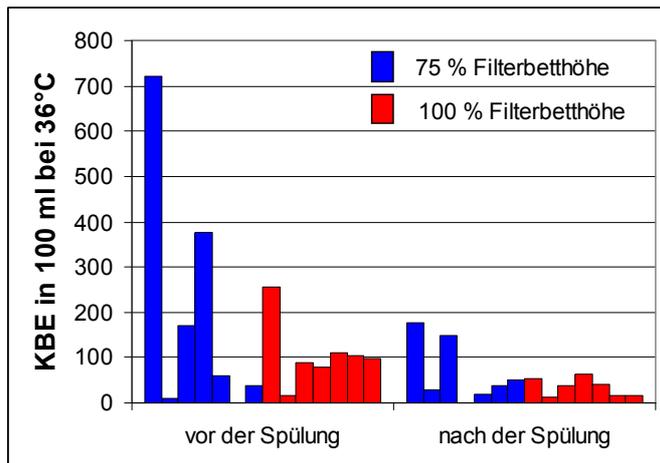


Diagramm 3.22: Mikrobiologische an der Entnahmestelle e

Wenn die Konzentration im Filtrat 100 KBE/ml nicht überschreitet, gilt die Filtration als erfolgreich. Die einwandfreie Filtratqualität ist demnach bei 100% Filterbetthöhe zu erkennen. Infolge der halbierten Braunkohlekoksschicht wurden in den Filtratproben an der Entnahmestelle e höhere Belastung mit KBE festgestellt (s. Diagramm 3.22). Vor allem nach

längerem Filterbetrieb unmittelbar vor der Spülung werden öfters viel höhere Konzentrationen festgestellt. Da die Spülintervalle gleich geblieben sind, wie bei einer DIN-gerechter Ausführung der Filterschichten, wurde die Verschmutzung des Filters schneller erreicht. So ist der Unterschied einer höheren mikrobiologischen Belastung unmittelbar vor der Spülung gegenüber dem gereinigtem Zustand sehr auffallend. Nach der Spülung wird bei vermindertem Filterbett wird abgesehen von zwei Messwerten die gleiche Filtratqualität wie bei einer Vollaufführung erreicht.

3.4.8 Diskussion

Beim Vergleich der Messdaten von den verschiedenen Versuchstagen fällt auf, dass einige Messwerte konstant bleiben und dass andere sehr stark schwanken. Besonders starke Schwankungen sind bei den gemessenen Chlorwerten und bei den mikrobiologischen Parametern zu erkennen. Die mikrobiologischen Parameter sind an einigen Versuchstagen um den Faktor 1000 größer. Dass es bei manchen Spülungen viel mehr Bakterien ausgetragen werden, kann auf unterschiedliche Belastung des Beckens zurückgeführt werden.

Im Folgenden wird auf die chemischen Parameter und anschließend auf die mikrobiologischen Parameter eingegangen.

Bei der Betrachtung des pH-Wertes an den verschiedenen Versuchstagen fällt auf, dass die Werte für den pH-Wert immer im oberen Drittel des in der DIN 19643 vorgegebenen Bereiches liegen. Der Grenzwert von pH 7,6 wird nie überschritten. Der pH-Wert bleibt während eines Versuchstages an allen Entnahmenstellen annähernd konstant.

Stellt man die Kurvenverläufe der Trübenmessung gegenüber, erkennt man, dass die Trübung an allen Entnahmestellen nahe zu null ist. Die einzige deutliche Veränderung ist bei der Wasserspülung an der Entnahmestelle (f) zu erkennen. An der Entnahmestelle (f) wird das Schlammwasser in die Kanalisation geleitet. Dies bedeutet, dass alle beim Filterprozess anfallenden Schwebepartikel und zurückgehaltene Keime dort abgeleitet werden. Zu Beginn des Spülprozesses ist die Trübung am größten und nimmt mit laufender Spüldauer ab. Die beim Filterprozess anfallenden Schwebepartikel und die an der Aktivkohle haftenden Partikel werden mit der Strömung mitgerissen und in den Überlauf gespült. Gegen Ende des Spülprozesses sind alle Partikel weggespült und der Wert für die Trübung liegt wieder bei null.

Die gemessene Redoxspannung im Beckenwasser liegt bei allen Messungen über dem Mindestwert der DIN 19643. Dies lässt auf ein niedriges Niveau an organischen Bestandteilen im Wasser schließen und auf die Wirksamkeit der Filteranlage.

Betrachtet man nun die mikrobiologischen Parameter, so fällt auf, dass die Werte für die Koloniebildenden Einheiten (KBE) bei fast allen Proben unter dem in der DIN 19643 vorgeschriebenen Grenzwert von 100/ml liegen. Dies trifft sowohl für die KBE 20°C und für die KBE 36°C – Werte zu.

Des Weiteren ist zu beobachten, dass die KBE 36°C – Werte an manchen Probenagen an einzelnen Entnahmestellen den oberen Grenzwert von 100/ml überschreiten. Eine mögliche Ursache ist eine ungenügende Sterilisation der Entnahmehähne bzw. der vorgeschalteten Schläuche.

Die Entwicklung der KBE 36°C – Werte vor dem Spülen zeigt, dass die Werte in Filterrichtung an den Entnahmestellen zunehmen. An der Entnahmestelle (a) ist der Wert bei fast allen Messungen null und nimmt bis zur Entnahmestelle (e) zu. An der Entnahmestelle (e) im Filtrat wird der Grenzwert des Öfteren überschritten. Da das freie Chlor in der Braunkohlekoksschicht zerstört wird, können die Keime in den unteren Sandschichten ungehindert wachsen. Wegen den örtlichen Umständen erfolgt die Filterspülung der Pilotanlage im Schinkelbad mit Brunnenwasser. Eigentlich werden die Captura-Anlagen so gebaut, dass der Spülwasserspeicher mit Beckenwasser aufgefüllt wird. Die Filterreinigung erfolgt dann mit einem chlorierten Wasser. So können auch die bei der Wasserspülung nicht ausgetragenen Mikroorganismen restlos abgetötet werden.

Der Vergleich der Filtratqualität bei 100 % und 50 % Braunkohlekoksschicht liefert, dass das Beckenwasser bei der reduzierten Filterbetthöhe immer noch den Anforde-

rungen der DIN genügt. Im Filtrat sind nur leichte Veränderungen festzustellen, so z. B. höhere Zahl der KBE. Das gebundene Chlor wird ebenfalls etwas weniger reduziert. So liegen die Restkonzentrationen im Filtrat bei 100 % Filterbetthöhe bei ca. 0,025 mg/l und bei der reduzierten Braunkohlekoksschicht bei ca. 0,05 mg/l. Diese Veränderungen sind allerdings minimal. Hier sollten noch zusätzlich die THM überprüft werden. Wenn auch diese Konzentration eingehalten wird, kann bei einer auf 75 % reduzierten Filterschichthöhe ebenfalls von einer erfolgreichen Wasseraufbereitung ausgegangen werden.

4 Projekt 2: Erprobung des Captura-Filters im Nettebad mit ökologischer und ökonomischer Bilanzierung der Filteranlage

4.1 Aufgabenstellung

Das Projektziel war es, das neuartige Filtersystem Captura auf Ressourceneinsparung durch Wasser und Energie im Realbetrieb zu prüfen. Die Untersuchungen wurden am Kreislauf Aktivbecken im Nettebad der Stadt Osnabrück durchgeführt. Hier sollte die Filtrationsanlage noch vor Inbetriebnahme einer Funktionsprüfung unterzogen werden.

Im Rahmen einer Sparmaßnahme sollte später ausgetestet werden, ob die Umwälzleistung der Aufbereitungsanlage auf 80 % und im nächsten Schritt auf 60 % reduziert werden kann, ohne dass eine Beeinträchtigung der Badebeckenwasserqualität eintritt. Die Wasserbeschaffenheit sollte dabei stets den Anforderungen der DIN 19643 genügen. Die Umwälzleistung wurde hierbei bewusst nicht von der DIN 19643 abhängig gemacht. Als Folge einer reduzierten Umwälzmenge sinkt auch die Stromaufnahme einzelner Filtratpumpen. Der Stromverbrauch ist bei jeder Veränderung der Umwälzleistung zu ermitteln. Parallel soll der erforderliche Wasserbedarf zur Filterspülung erfasst werden.

Die gewonnenen Ergebnisse sollten mit den Daten eines herkömmlichen Drucksandfilters verglichen. Als Vergleichsanlage stand der Kreislauf „Warmbecken“ im Schinkelbad Osnabrück zu Verfügung. Dadurch sollten ökonomische und ökologische Vorteile der Captura-Filter aufgezeigt werden.

Anschließend war die Wirtschaftlichkeit der neuen Filtertechnik zu bewerten. Hierzu sollte eine Kostenvergleichsrechnung gegenüber den konventionellen Filteranlagen durchgeführt werden. Das Ergebnis sollte dann darüber entscheiden, ob und wenn ja, inwieweit sich die Ausstattung mit Filteranlagen Captura in einem großen Freizeitbad wie dem Nettebad rentierte.

4.2 Funktionsnachweis

4.2.1 Ziel

Im neu errichteten Nettebad der Stadt Osnabrück wird als „Pilotstandort“ die Filtertechnik der Fa. Aquila eingesetzt. Das eingesetzte Verfahren soll in seiner Wirksamkeit auf Grundlage der DIN 19643 „Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser“ überprüft werden. Hierzu wird ein bestimmtes Becken einer Funktionsprüfung gemäß dem Merkblatt 65.04 unterzogen.

4.2.2 Versuchsanlage im Kreislauf „Aktivbecken“

Für die Funktionsprüfung im Nettebad wurde als ein überschaubares Becken das Aktivbecken ausgewählt. Es handelt sich um ein Variobecken mit einer Fläche von 97 m², einem Beckeninhalt von 175 m³ und einer installierten Umwälzleistung von 72 m³/h. Die Temperatur des Beckenwassers beträgt ca. 31°C.

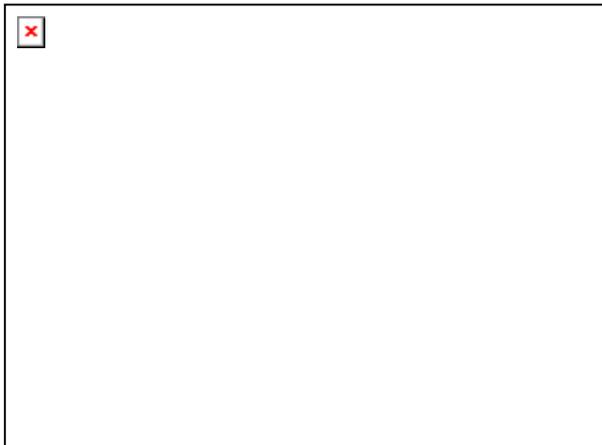


Abb. 4.1: Aktivbecken im Nettebad

Das Konzept zur Wasseraufbereitung des Aktivbeckens wird im Verfahrensfießbild (s. Abb. 4.2) wiedergegeben. Es handelt sich um die Verfahrenskombination Flockung – Filtration – Chlorung.

Das der Aufbereitung zugeführte Schwallwasser gelangt zunächst in den Schwallwasserbehälter. Dieser befindet sich unterhalb der Rinne, so dass der

Abfluss geodätisch erfolgt. Das Rohwasser wird vor der Filtration mit Flockungsmitteln versetzt. Als Flockungsmittel wird nach E DIN EN 881 Aluminiumhydroxidchlorid $Al_2(OH)_5Cl_2 \cdot 3H_2O$ mit dem Handelsnamen Locron S Schuppen eingesetzt.

Da das Filtermodul unterhalb des Schwallwasserbehälters angeordnet ist, kann auf eine Rohwasserpumpe verzichtet werden. Der Zufluss erfolgt alleine aus gegebenen Höhenunterschieden. Die Durchflussmenge wird über einen Stellungsregler eingestellt.

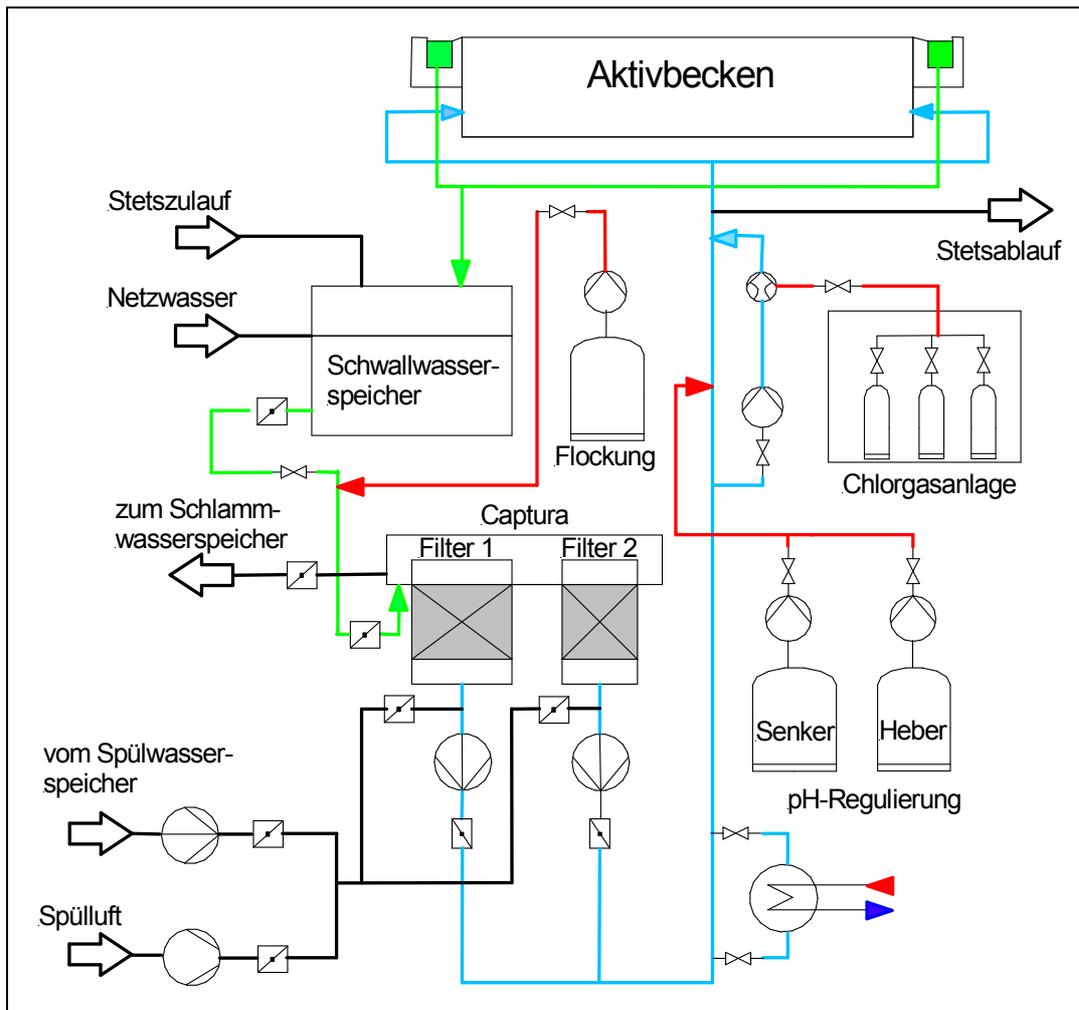


Abb. 4.2: Verfahrensfließbild zum Kreislauf Aktivbecken im Nettebad

Die Filteranlage besteht aus zwei Captura-Filtern mit einer Fläche von 2 m² und 1 m², die zu einem Modul zusammengebaut sind. Die Abmessungen und der Schichtaufbau sind Abb. 4.3 und Abb. 4.4 zu entnehmen.

In geschlossenen Schnellfiltern müssen nach der DIN 19643-2 die Sand- sowie die Braunkohlekoksschicht mindestens 0,6 m betragen. Der Schichtaufbau der Captura-Filter wird immer einheitlich entsprechend den DIN-Vorgaben ausgeführt. Da beim Captura die untere Stüttschicht zu den wirksamen Schichten gehört, geht sie ebenfalls in die Berechnung der Schütthöhe ein.

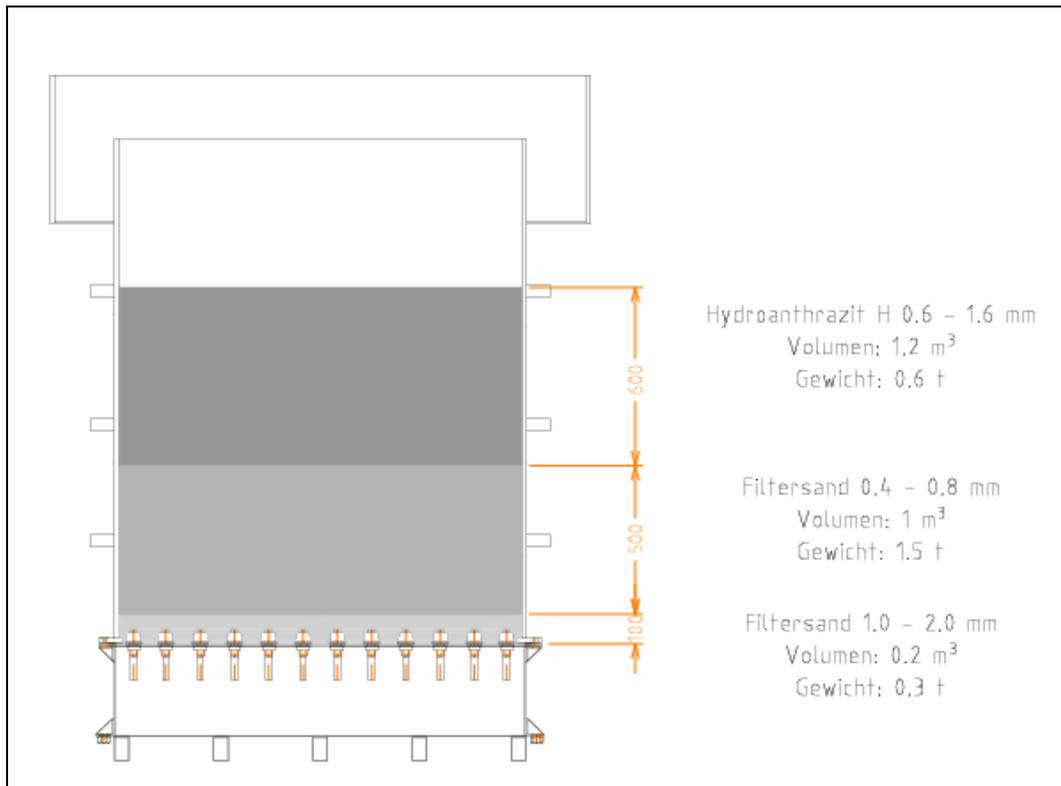


Abb. 4.3: Schichtaufbau des Captura 1 mit 2 m² Filterfläche

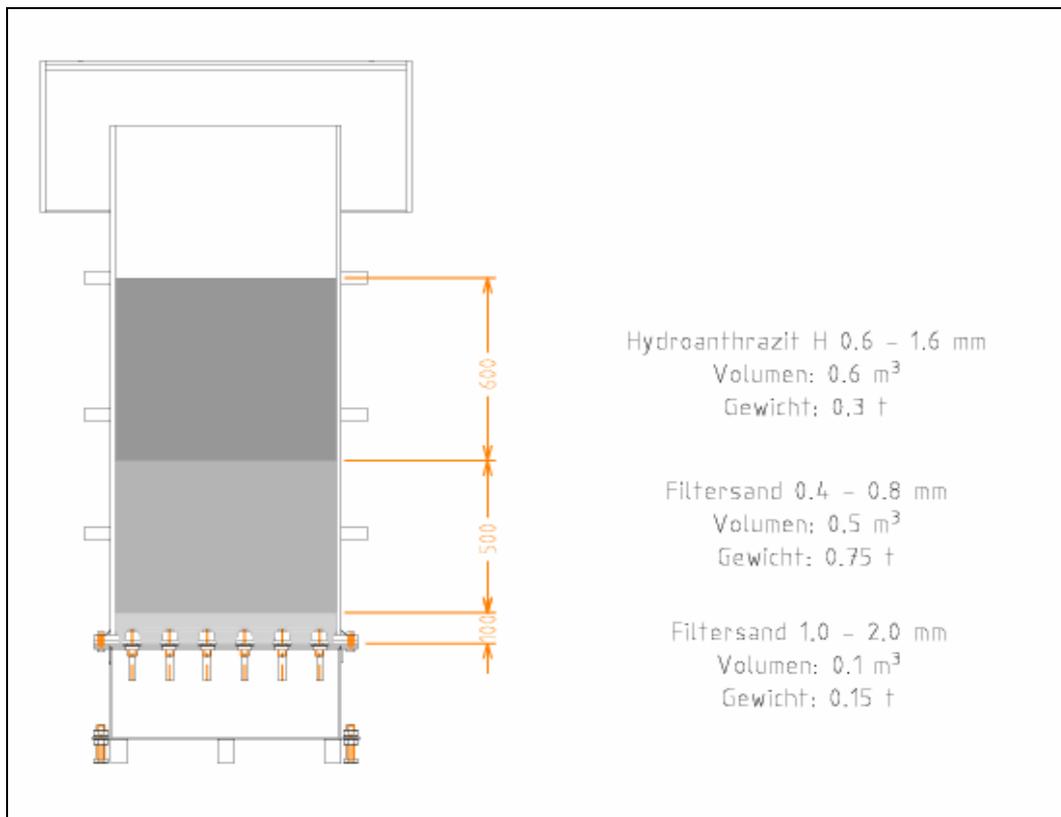


Abb. 4.4: Schichtaufbau des Captura 2 mit 1 m² Filterfläche

Für die Verfahrenskombination Flockung – Filtration – Chlorung ist ein Belastbarkeitsfaktor $k = 0,5 \text{ m}^{-3}$ vorgeschrieben. Laut DIN 19643 gilt für die Umwälzleistung:

$$Q = \frac{0,37}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot \frac{A}{k} \quad [\text{DIN 19643-1, Tabelle 4}] \quad \text{Gl. 4-1}$$

$$Q = \frac{0,37}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot \frac{97 \text{ m}^2}{0,5 \text{ m}^{-3}} \approx 72 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Zur Umwälzung werden zwei selbstansaugenden Kreiselpumpen der Fa. Unibad eingesetzt. Diese sind in der Filtratleitung des jeweiligen Filters installiert. Der Förderstrom kann jederzeit über einen Frequenzumrichter verstellt werden.



Die tatsächlichen Volumenströme werden an den jeweiligen Filtratleitungen mit den magnetisch-induktiven Durchflussmessern der Fa. Burkert erfasst (s. Abb. 4.5). Die Summe der beiden angezeigten Filtratströme ergibt die gesamte Umwälzleistung. Da Frequenzumformer an allen Umwälzpumpen eingebaut sind, kann ein konstanter Volumenstrom unabhängig von der Filterverschmutzung gewährleistet werden. Eine Umrechnung auf die Filterfläche ergibt eine Filtergeschwindigkeit von 24 m/h, die unter dem Grenzwert von 30 m/h liegt.

Abb. 4.5: magnetisch-induktive Durchflussmesser

Die Filterspülung wird von der Spülwasserpumpe ausgeführt. Die optimale Rückspülgeschwindigkeit mit Wasser beträgt 50 m/h, mit Luft 60 m/h. Im Nettebad kommt nur eine Spülwasserpumpe zum Einsatz. Das bedeutet, die Filter werden der Reihe nach gespült. Der Spülvorgang erfolgt automatisch und wird ebenfalls automatisch zweimal wöchentlich ausgelöst. Die Spülschritte und Parameter werden mit SPS eingestellt. Dadurch, dass mehrere Filter eine gemeinsame Zulaufkammer besitzen, wird beim Spülen eines einzelnen Filters das gesamte Modul außer Umwälzbetrieb genommen.



Abb. 4.6: Dosieranlage für Chlor



Abb. 4.7: Mess- und Regeleinrichtung für freies Chlor, Redox-Spannung und pH-Wert

Zur Desinfektion wird im Netztebad in Druckflaschen abgefülltes Chlorgas eingesetzt. Die Chlorungsanlagen sind in einem separaten Chlorgasraum untergebracht. Die Dosierung erfolgt unter Vakuum über die Dosieranlage USF der Fa. Wallace & Tiernan (s. Abb. 4.6), so dass ein Chlorausstritt aus der Leitung im Falle eines Lecks ausgeschlossen ist. Die Regelung und Messung übernimmt die Chlormesszelle DEPOLOX Pool aus Abb. 4.7. Das Messwasser wird unterhalb des Wasserspiegels entnommen und auf kürzestem Wege der Messzelle (Messstelle 5) zugeführt. Die Menge an Chlorgas wird dann bedarfsabhängig zudosiert. Der Sollwert an freiem Chlor darf sich dabei nur innerhalb der eingestellten Grenzwerte Min = 0,3 mg/l und Max = 0,6 mg/l bewegen. Diese Art von Regelung funktioniert nur,

wenn der pH-Wert nicht mehr als 0,3 vom Sollwert abweicht. Um eine ausreichende Pufferkapazität im Becken zu erhalten wird im Bypass das chlorierte Reinwasser über einen Marmorkesturm (s. Abb. 4.8) geleitet. Infolgedessen reagiert die gebildete Salzsäure mit Calciumcarbonat zu Hydrogencarbonationen.

Für jeden Kreislauf ist im Netztebad separat eine automatische Anlage für die pH – Wertmessung und -regelung vorhanden. Die Messung erfolgt direkt aus dem jeweiligen Becken. Die Zugabe des pH – Wertkorrekturmittels erfolgt in der Reinwasserleitung. Zur pH-Wert-Einstellung werden Schwefelsäure (15 % bis 51 %) und Natronlauge (45 %) eingesetzt.



Abb. 4.8: Marmorkesturm

4.2.3 Färbeversuch zur Untersuchung der Beckendurchströmung



Abb. 4.9: Färbeversuche im Nettebad

Zur Bewertung der Transport- und Vermischungsvorgänge wurde im Nettebad am 09.03.05 für jedes Becken Färbeversuche in Anwesenheit des zuständigen Gesundheitsamtes durchgeführt. Zum Filtrat des Aufbereitungskreislaufes wurde der Farbstoff Uranin zugegeben und die Durchströmung in den jeweiligen Becken beobachtet. Die Umwälzleistung der Pumpen wurde auf 60 % herabgesetzt.

Eine vollständige Einfärbung in dem jeweiligen Becken war bereits nach wenigen Minuten zu erkennen. Die gemessene Verweilzeit lag weit unter der vorgegebenen DIN- Zeit von 15 Minuten. Die Einfärbung sowie die Ableitung des Überlaufwassers erfolgten gleichmäßig. Totzonen waren nicht zu finden. Somit erwies sich die Durchströmung in allen Becken als wirksam. Logischerweise werden die Becken bei einer höheren Umwälzleistung als 60 % noch besser durchströmt.

4.2.4 Besucherzahlen und Überprüfung der Füllwasserzugabe

Zur Wassererneuerung sind nach DIN 19643 täglich mindestens 30 l Beckenwasser je Besucher gegen Füllwasser auszutauschen. Bei einer Versuchsreihe (s. nachfolgende Kapitel) im Aktivbecken wurde der Stand des Wasserzählers einen Monat lang dokumentiert. Es ergab sich folgende durchschnittliche Füllwassernachspeisung:

$$\dot{V}_{\text{Füllwasser}} = 0,242 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Demnach werden dem Aktivbecken täglich 5,8 m³ Füllwasser zugeführt. Der Wasseraustausch ergibt sich aus der Filter- und Rinnenreinigung. Gespült wird mit Badewasser aus dem Filtrationskreislauf, welches dann durch die äquivalente Menge an Frischwasser ausgetauscht wird.

Nach der DIN 19643 darf das Aktivbecken stündlich von 36 Badenden genutzt werden. Das Becken steht den Badenden 13 Stunden zur Verfügung. Wird diese theoretische Beckenbelastung zugrunde gelegt, so ist der daraus resultierende Füllwasserzusatz von 7 l je Besucher nicht ausreichend.

entsprechend der DIN – konformen Spitzenbelastung :

$$V_{\text{Füllwasser}} = \frac{0,242 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 24 \text{ h}}{36 \frac{\text{Besucher}}{\text{h}} \cdot 13 \text{ h}} \approx 12,4 \frac{\text{l}}{\text{Besucher}}$$

Um die tatsächliche Belastung zu ermitteln, haben die Bademeister die Besucherzahlen in den einzelnen Becken vom 20.06.05 bis 03.07.05 genau verfolgt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 13.4 (Anhang) aufgelistet sowie zusammenfassend in Diagramm 4.1 dargestellt.

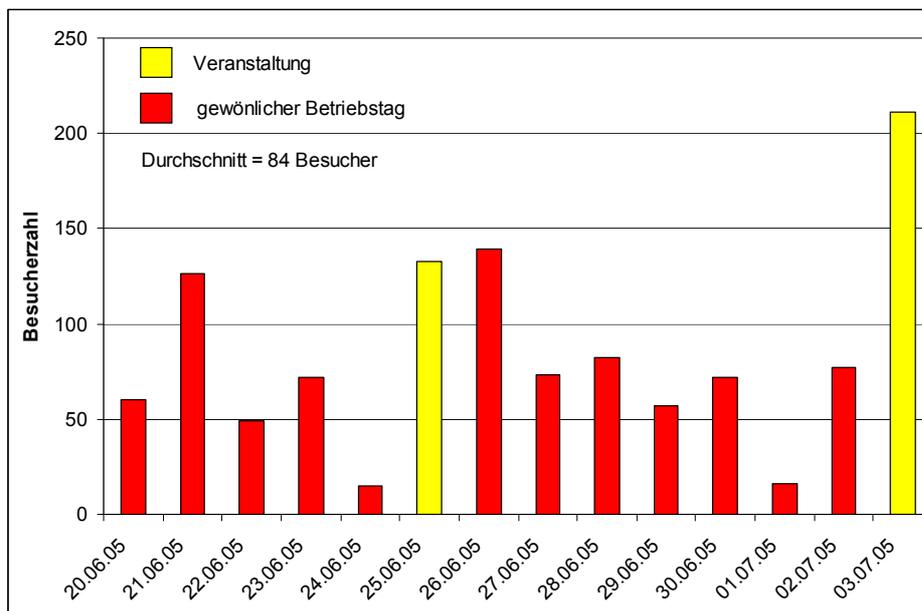


Diagramm 4.1: tägliche Besucherzahl im Aktivbecken

Die erhaltenen Belastungsprofile liefern, dass die Nennbelastung im Aktivbecken von 36 h^{-1} bzw. 468 d^{-1} nie erreicht worden ist. Die höchste Besucherzahl von 211 wurde innerhalb der betrachteten zwei Wochen am Sonntag den 03.07.05 registriert. An diesem Tag fand um 21 Uhr eine Veranstaltung statt. Abgesehen von den Events hat die Spitzenbelastung an einem gewöhnlichen Betriebstag 139 d^{-1} betragen. Legt man diese Belastung zugrunde, so resultiert sich ein Frischwasserbedarf von $4,2 \text{ m}^3/\text{d}$. So ist die vorliegende Füllwassermenge von $5,8 \text{ m}^3/\text{Tag}$ mehr als ausreichend. Die Besucherzahlen sind nur innerhalb von zwei Wochen verfolgt worden, so sind die Ergebnisse nur als Anhaltswerte zu verwenden.

Das Füllwasser weist seuchen- und allgemeinhygienisch Trinkwassereigenschaften auf. Die Überprüfung der hygienischen Qualität erfolgt im Nettebad entsprechend den Vorschriften zweimal im Jahr (s. Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Eigenschaften des Füllwassers im Nettebad

Parameter		Einheit	Grenzwerte	Probe	Messwerte
Nitrat		mg/l	50	14.07.05	9,4
				01.02.06	5,1
Oxidierbarkeit		mg/l KMnO ₄		05.07.05	1,6
				14.07.05	< 2
				01.02.06	8,2
KBE	20°C	KBE/ml	100	07.09.05	0
	36°C				4
	20°C	KBE/ml	100	01.02.06	0
	36°C				10
E.coli		KBE/100 ml	n.n*	07.09.05	0
				01.02.06	0
Koliforme Bakterien, gesamt		KBE/100 ml	n.n *	07.09.05	0
				01.02.06	0

*n.n.: Nicht nachweisbar

4.2.5 Belastungstest

Am 27.06.05 wurde das Aktivbecken innerhalb von 5 Stunden einer Belastung mit höchst erlaubter Anzahl an Badegästen ausgesetzt. Hierbei wurden permanent die chemischen und mikrobiologischen Wasserparameter aufgenommen. Damit sollten die Funktionstüchtigkeit der Captura-Anlage anhand der hygienischen Parameter des Badewassers bei der höchsten Beanspruchung bewertet werden.

4.2.5.1 Durchführung

Bei der vorhandenen Wasserfläche des Aktivbeckens von 97 m² ergibt sich nach Gl. 4-2 eine Personenfrequenz von höchstens 36 Badegästen je Stunde:

$$N = \frac{0,37}{m^2 \cdot h} \cdot A \quad [\text{DIN 19643-1, Tabelle 4}] \quad \text{Gl. 4-2}$$

Mit einem Beckeninhalt von 175 m³ und einer Umwälzmenge von 72 m³/h dauert ein Umwälzzyklus ca. 2,5 h. Wie im Merkblatt 65.04 gefordert ist, soll die Nennbelastung während des Belastungstests für 2 Umwälzzyklen gegeben sein. Daraus ergibt sich eine Testzeit von 5 h, in der das Becken von 36 Badegästen/h frequentiert werden muss. Die Belegung des Aktivbeckens während des Belastungstestes zeigt die Tabelle 4.2.

Tabelle 4.2: Belegung des Aktivbeckens während des Belastungstests am 27.06.05

Uhrzeit	Personen	Nennbelastung [h ⁻¹]
17:00 – 17:30	12	36
17:30 – 17:40	16	
17:40 – 18:00	8	
18:00 – 18:20	16	40
18:20 – 18:40	16	
18:40 – 19:00	8	
19:00 – 19:20	18	36
19:20 – 19:40	13	
19:40 – 20:00	5	
20:00 – 20:20	15	36
20:20 – 20:40	9	
20:40 – 21:00	12	
21:00 – 21:20	11	36
21:20 – 21:40	10	
21:40 – 22:00	15	

Der Belastungstest wurde mit einer Umwälzmenge von 85 % gegenüber der nach DIN geforderten Umwälzmenge bzw. mit ca. 61 m³/h gefahren. Die Braunkohlekoksschicht des Captura 2 mit 2 m² Filterfläche wurde auf 30 cm halbiert. Der Captura 1 mit 2 m² Filterfläche wurde mit der DIN-gerechten Filterschichthöhe betrieben.

Der Volumenstrom wurde durch die eingebauten Durchflussmesser überwacht, jedoch mittels Ultraschallmessung vor Beginn des Tests verifiziert.

In nachfolgender Tabelle 4.3 sind alle gemessenen Parameter mit Angabe

des Messpunktes sowie des Zeitpunktes der Probenahme unter Berücksichtigung der DIN 19643-2 Tabelle 4 bzw. Merkblatt 65.04 fixiert. Für die Wasseruntersuchungen wurden jeweils zwei Proben, A und B, entnommen.

Tabelle 4.3: Prüfparameter des Belastungstestes

Lfd. Nr.	Zeitpunkt	Messstelle	Prüfparameter
1	0 h (vor dem Belastungstest)	6	Pseudomonas aeruginosa
2		8	
3		9	
4		6	Legionella pneumophila
5		8	
6		9	
7		8	KBE
8		9	
9		8	THM
10		9	
11		8	Oxidierbarkeit, ortho-Phosphate, Aluminium
12		9	
13		7	ortho-Phosphate, Aluminium
14		6	Aluminium
15		5	Eisen
16	nach 2.5 h Belastungstest	8	Oxidierbarkeit
17		9	
18	5 h (nach dem Belastungstest)	6	Pseudomonas aeruginosa
19		8	
20		9	
21		6	Legionella pneumophila
22		8	
23		9	
24		8	KBE
25		9	
26		8	THM
27		9	
28		8	Oxidierbarkeit, ortho-Phosphate, Aluminium
29		9	
30		7	ortho-Phosphate, Aluminium
31		6	Aluminium
32		5	Eisen

Im Folgenden werden die festgelegten Messstellen beschrieben und in Abb. 4.10 die jeweilige Position dargestellt.

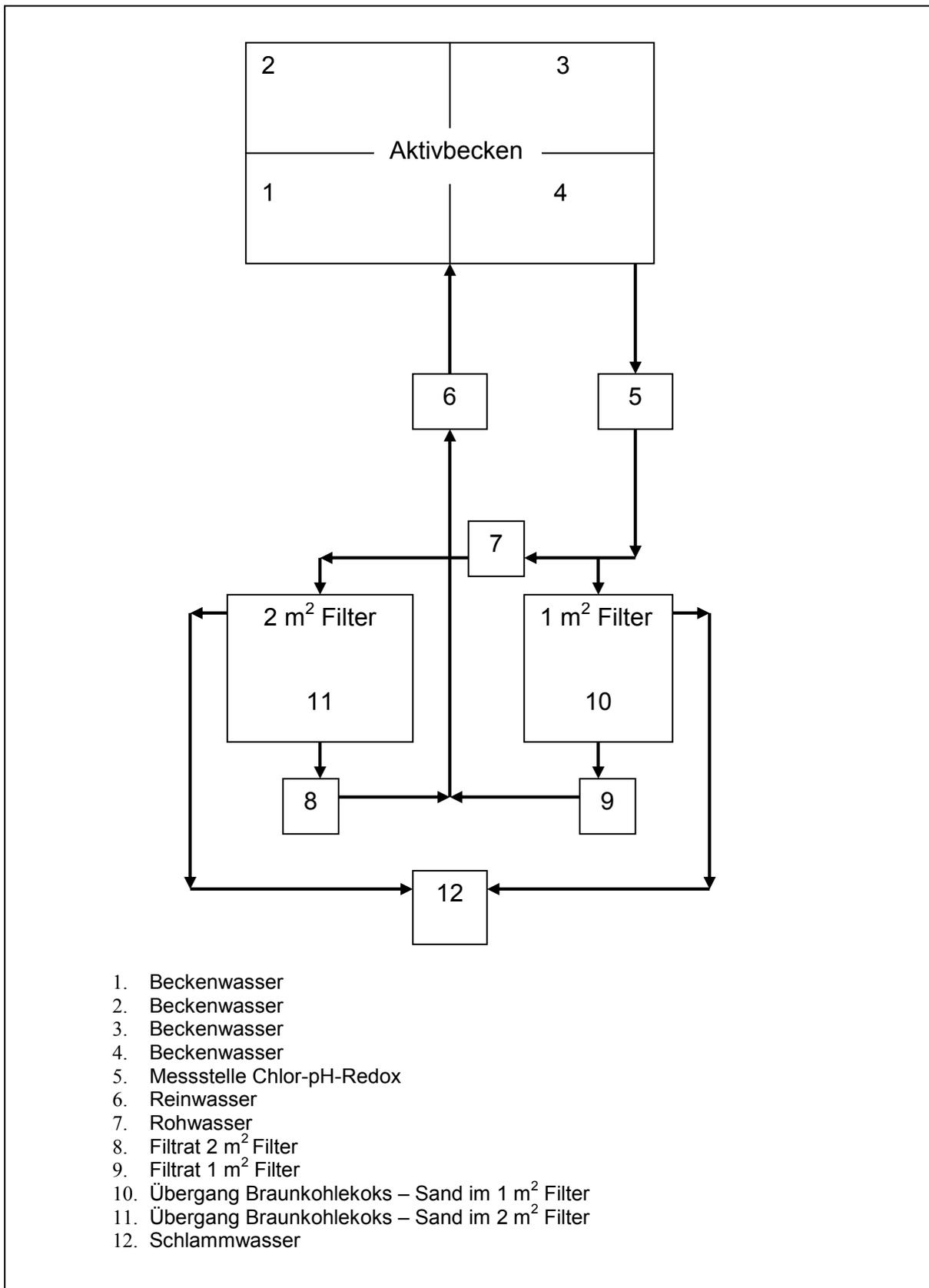


Abb. 4.10: Probeentnahmestellen im Kreislauf „Aktivbecken“

Die Entnahmestellen 1 bis 4 liegen in den vier Eckpunkten des Aktivbeckens. Die Entnahmestelle 5 ist der Ablaufhahn an der Mess- und Regelanlage für Chlor, pH-Wert und Redoxpotential (Abb. 4.11).



Abb. 4.11: Entnahmestelle 5

Die Entnahmestelle 6 ist in der Reinwasserleitung angeordnet (s. Abb. 4.12).



Abb. 4.12: Entnahmestelle 6

Die Entnahmestelle 7 befindet sich in der Schwallwasserleitung.

Die Entnahmestelle 8 ist am Filtratrohr vom 2 m² Filter zum Aktivbecken angebracht.

Die Entnahmestelle 11 ist im Übergang vom Braunkohlekoks zum Quarzsand beim 2 m² Filter angebracht. Die Entnahmestelle 9 ist am Filtratrohr vom 1 m²

Filter zum Aktivbecken angebracht. Die Entnahmestelle 10 ist im Übergang vom Anthrazit zum Quarzsand beim 1 m² Filter angebracht.

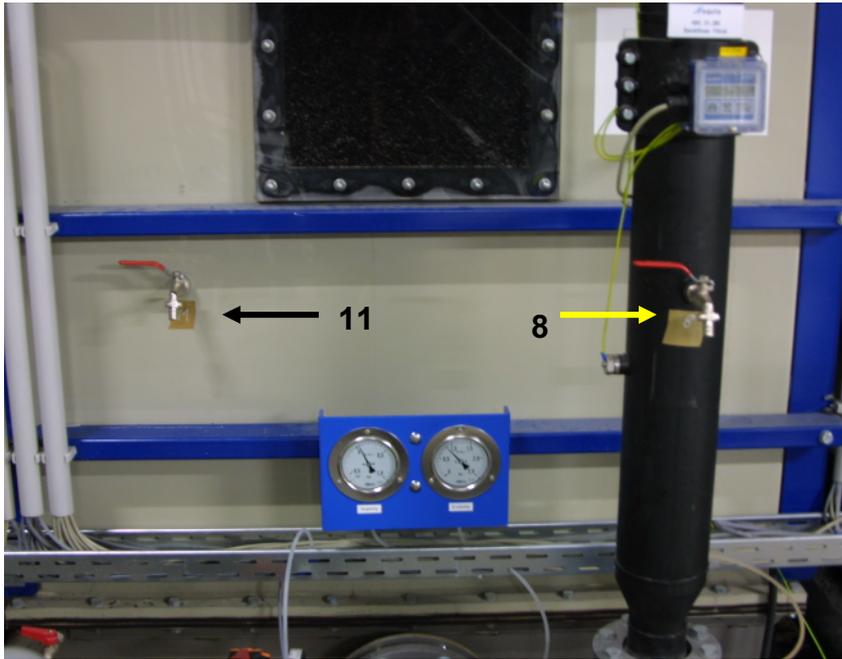


Abb. 4.13: Entnahmestellen 8 und 11 im 2 m² großen Filter

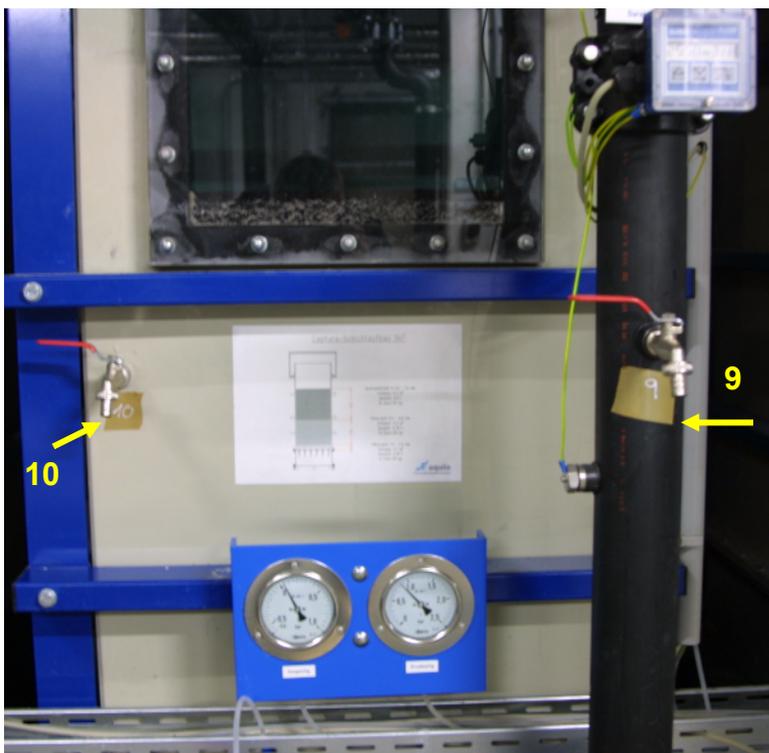


Abb. 4.14: Entnahmestellen 9 und 10 im 1 m² großen Filter

Die Entnahmestelle 12 befindet sich im Abwasserkanal.

4.2.5.2 Ergebnisse

Beckenwasser:

Der hygienische Zustand des Beckenwassers im Laufe des Belastungstests wird anhand der Messwerte aus Kapitel 13.5 (Anhang) beurteilt. Die gemessenen Hygiene-Hilfsparameter werden nachfolgend grafisch ausgewertet.

Das gebundene Chlor im Beckenwasser wurde innerhalb des Belastungstests jede Stunde gemessen. Der Konzentrationsverlauf geht aus dem Diagramm 4.2 hervor. Alle Messwerte liegen unter dem Grenzwert von 0,2 mg/l. Wie auch zu erwarten war, ist vor dem Versuch die niedrigste Konzentration festzustellen. Danach steigt sie geringfügig und erreicht nach drei Stunden ihr Maximum. Zwischen 2 und 3 Stunden Versuchsdauer haben sich im Aktivbecken 40 Personen anstatt 36 aufgehalten, so hat sich die überhöhte Belastung durch höhere Werte des gebundenen Chlors bemerkbar gemacht. Dennoch betrug die maximale Konzentration nur 0,145 mg/l.

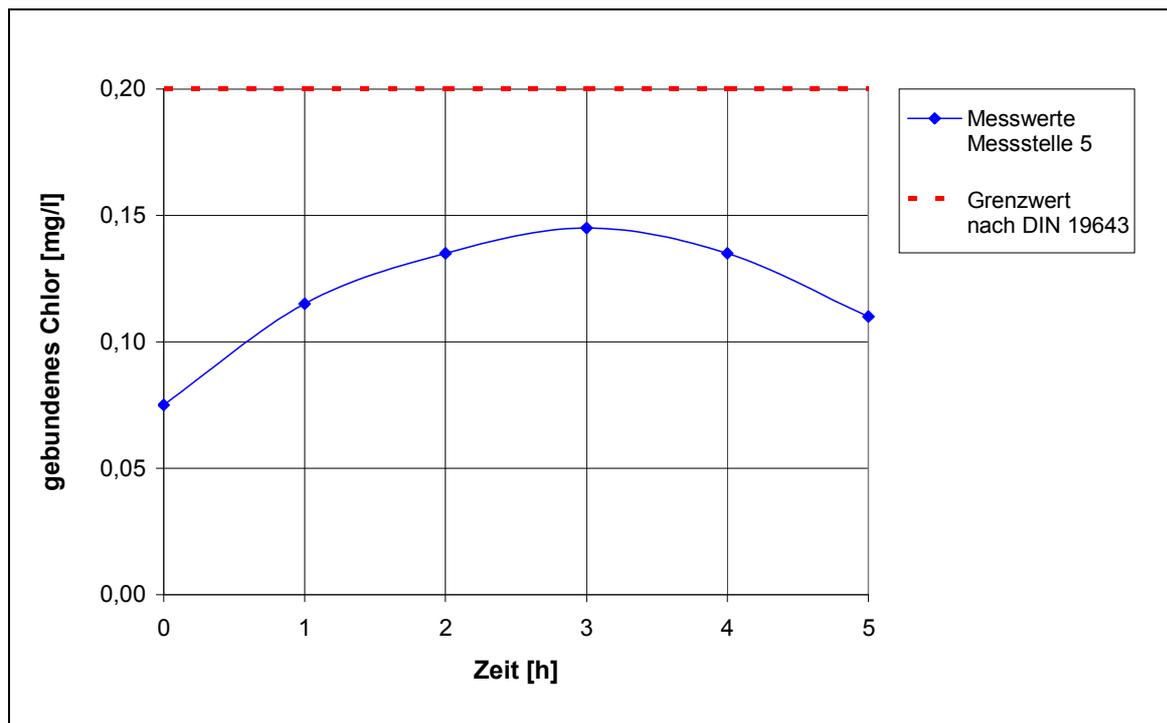


Diagramm 4.2: gebundenes Chlor im Aktivbecken während des Belastungstests

Die Konzentration an freiem Chlor wurde von der Regelungsanlage (Messstelle 5) kontinuierlich gemessen. Zusätzlich wurden vor und am Ende des Belastungstests Proben an den Ecken des Aktivbeckens gezogen. Das freie Chlor ist im Diagramm 4.3 wiedergegeben. Seine Konzentration wird stets in den Grenzen gehalten.

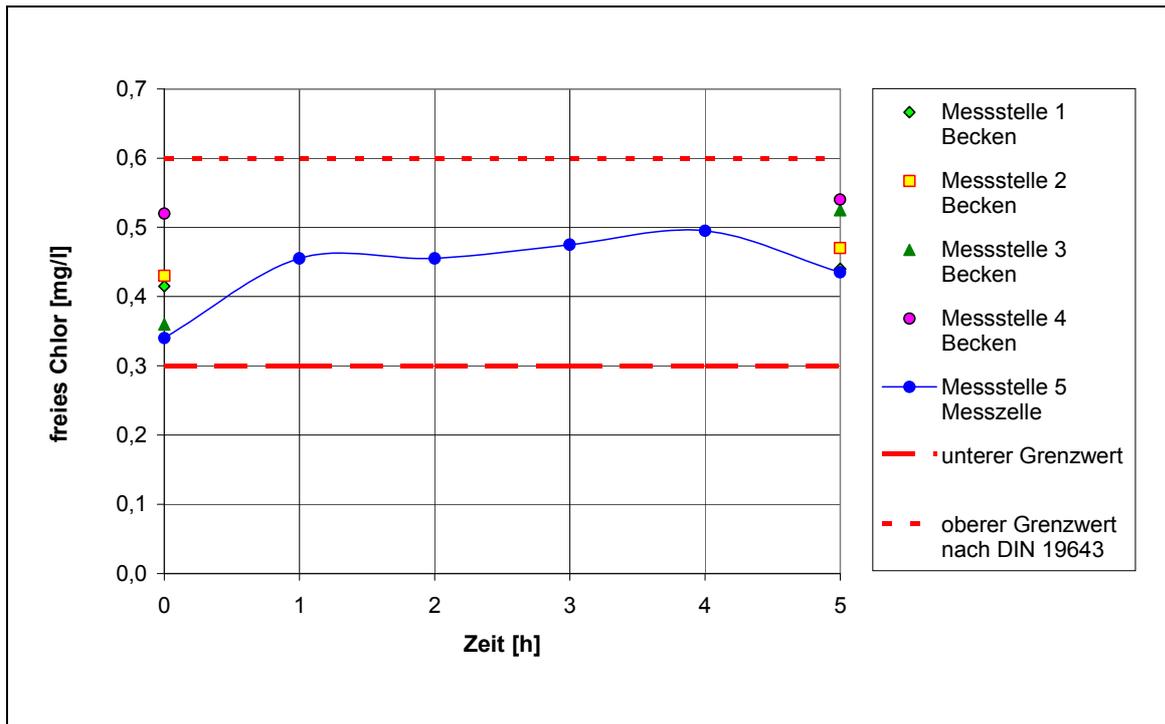


Diagramm 4.3: freies Chlor im Aktivbecken während des Belastungstests

Der pH-Wert wird ebenfalls von der Mess- und Regelungsanlage gemessen. Wie das Diagramm 4.4 zeigt, bleibt der pH-Wert im Beckenwassers während des Belastungstests annähernd konstant. Die Werte liegen zwischen 7,0 und 7,2.

Die Redox-Spannung geht aus dem Diagramm 4.5 hervor. Sie liegt oberhalb des unteren Grenzwertes zwischen 792 mV und 796 mV. Die hohe Redox-Spannung in Verbindung mit dem relativ niedrigen Gehalt an freiem Chlor deutet auf sauberes Beckenwasser und optimale Desinfektionswirkung hin.

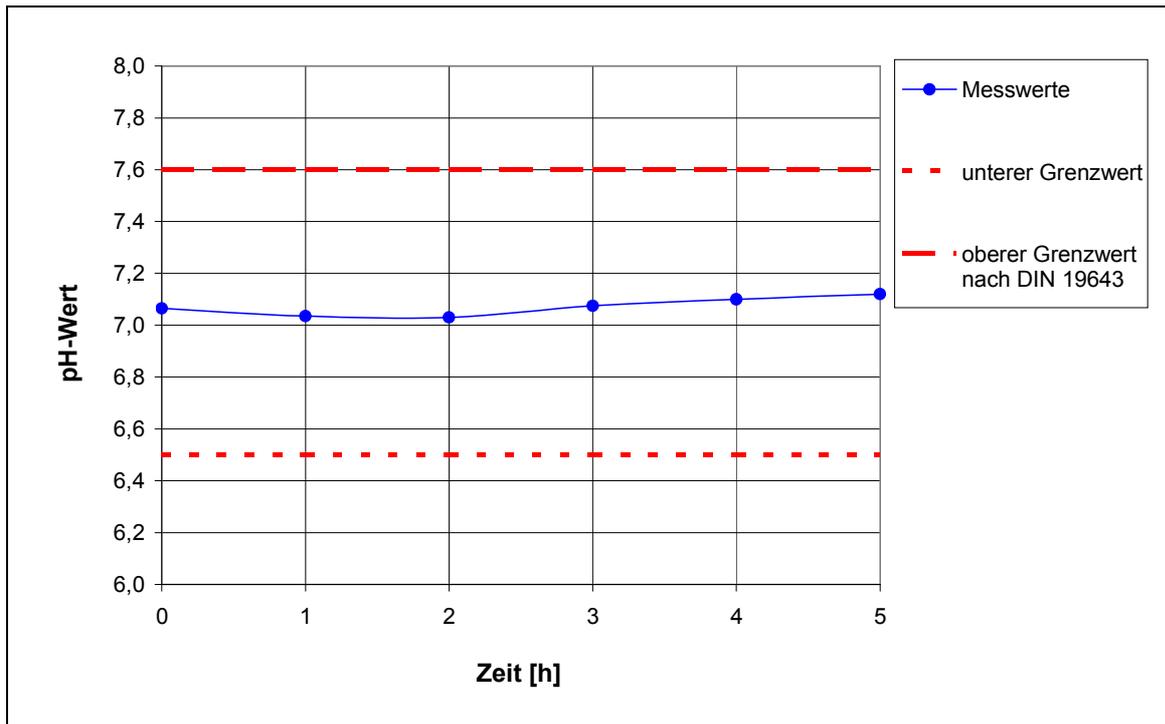


Diagramm 4.4: pH-Wert im Aktivbecken während des Belastungstests

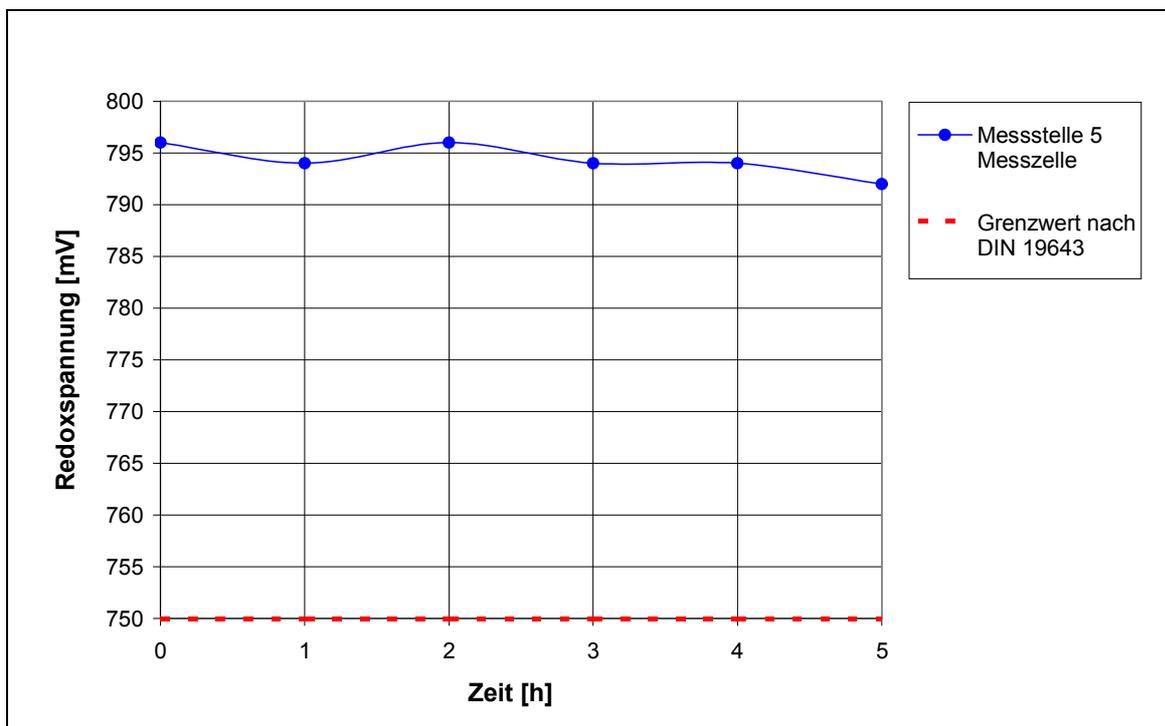


Diagramm 4.5: Redox-Spannung im Aktivbecken während des Belastungstests

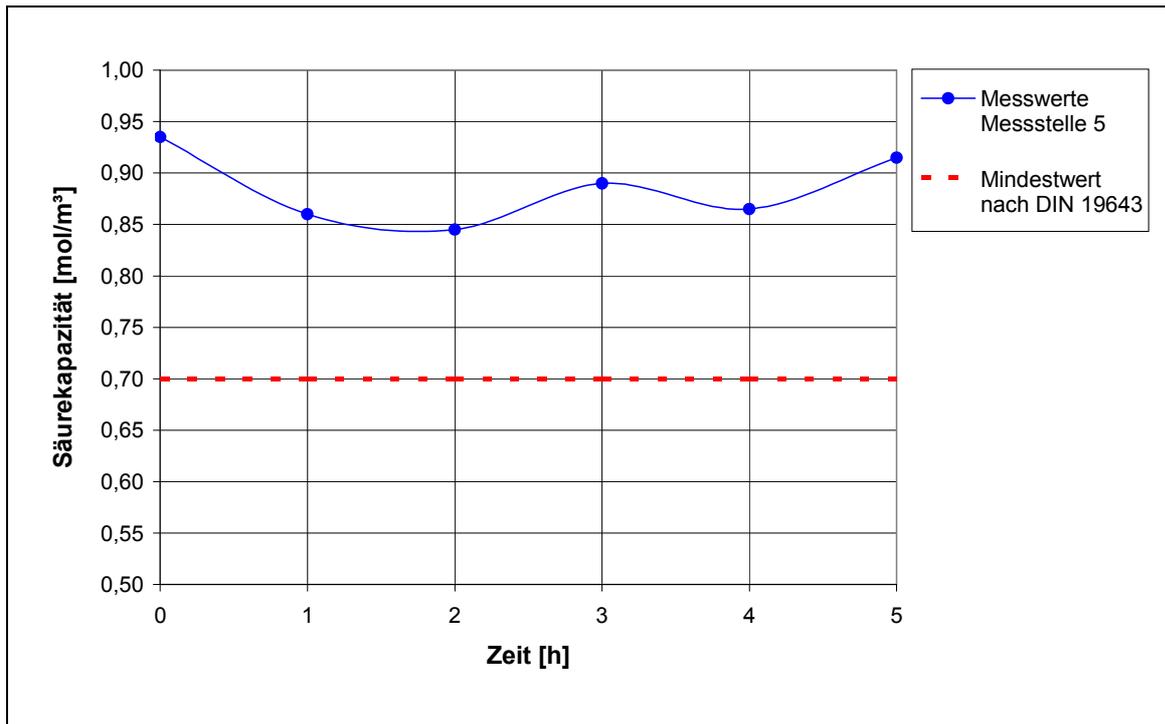


Diagramm 4.6: Säurekapazität im Aktivbecken während des Belastungstests

Bei der Verwendung der Verfahrenskombination Flockung – Filtration – Chlorung gilt für alle Schwimm- und Badebecken, außer Warmsprudelbecken, $K_{S4.3} \leq 0,7 \text{ mol/m}^3$. Das Diagramm 4.6 zeigt den zeitlichen Verlauf der Säurekapazität im Beckenwasser während des Belastungstestes. Der Mindestwert wird dabei nicht unterschritten.

Filtrat:

Die Funktionsprüfung umfasst laut DIN 19643-2 (Kapitel 4.5.4) die Wasseruntersuchungen im Filtrat. Die Messergebnisse sind in der Tabelle 4.4 aufgelistet.

Tabelle 4.4: Filtratwerte am 27.06.05

Parameter	Einheit	Grenzwerte	Probe	Messwerte		
				Filter mit 100 % Filterbetthöhe Messstelle 8	Filter mit 75 % Filterbetthöhe Messstelle 9	
vor dem Belastungstest						
Pseudomonas aeruginosa	1/(100 ml)	0	A	0	0	
			B	0	0	
Escherichia coli	1/(100 ml)	0	A	0	0	
			B	0	0	
Legionella pneumophila	1/(100 ml)	0	A	0	0	
			B	0	0	
KBE	20 °C	1/ml	100	A	0	0
				B	0	0
	36°C		A	4	2	
			B	0	4	
Oxidierbarkeit	O ₂	0,5	A	0,87	0,87	
			B	0,71	0,71	
	KMnO ₄	2	A	3,4	3,4	
			B	2,8	2,8	
THM	mg/l	0,020	A	0,0124	0,0135	
			B	0,0183	0,0136	
Ortho-Phosphate	mg/l	0,015	A	< 0,1	< 0,1	
			B	< 0,1	< 0,1	
Aluminium	mg/l	0,050	A	< 0,1	0,12	
			B	< 0,1	< 0,1	
Nach 2,5 h						
Oxidierbarkeit	O ₂	mg/l	0,5	A	1,0	0,95
				B	1,1	0,95
	KMnO ₄		2	A	4,1	3,7
				B	4,4	3,7
nach dem Belastungstest						
Pseudomonas aeruginosa	1/(100 ml)	0	A	0	0	
			B	0	0	
Escherichia coli	1/(100 ml)	0	A	0	0	
			B	0	0	
Legionella pneumophila	1/(100 ml)	0	A	0	0	
			B	0	0	
KBE	20 °C	1/ml	100	A	2	0
				B	0	0
	36°C		A	0	2	
			B	0	0	
Oxidierbarkeit	O ₂	0,5	A	0,87	0,71	
			B	0,79	0,87	
	KMnO ₄	2	A	3,40	2,80	
			B	3,10	3,40	
THM	mg/l	0,020	A	0,0143	0,0247	
			B	0,0181	0,0292	
Ortho-Phosphate	mg/l	0,015	A	< 0,1	< 0,1	
			B	< 0,1	< 0,1	
Aluminium	mg/l	0,050	A	< 0,1	< 0,1	
			B	< 0,1	< 0,1	

Im Folgenden werden die einzelnen Messparameter diskutiert.

Im Diagramm 4.7 ist die Oxidierbarkeit der Filtratproben als Kaliumpermanganat-Verbrauch dargestellt. Die Oxidierbarkeit gibt an, in welchem Ausmaß das Wasser mit organischem Material belastet ist. Sie weist auf die Reinigungseffizienz sowie die Belastung des Beckenwassers durch die Badegäste hin.

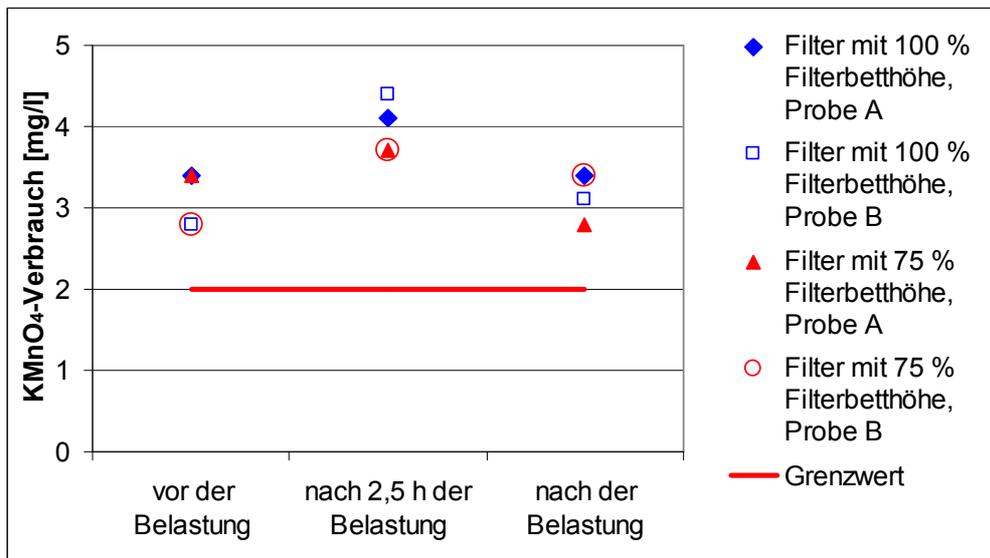


Diagramm 4.7: Oxidierbarkeit der Filtratproben

Die DIN 19643-2 besagt: Liegt die Oxidierbarkeit des aufbereiteten Wassers bei der unbelasteten Anlage unter der des Füllwassers, so ist dieser niedrige Wert als Bezugswert zu benutzen; liegt jedoch die Oxidierbarkeit des Füllwassers unter 0,5 mg/ IO_2 bzw. unter 2 mg KMnO_4 , gelten 0,5 mg/ IO_2 bzw. 2 mg KMnO_4 als Bezugswerte. Die Oxidierbarkeit des Filtrates darf diese Bezugswerte laut Tabelle 4 der DIN 19643 nicht überschreiten.

Das Brunnenwasser, welches im Nettebad als Füllwasser benutzt wird, wurde erst eine Woche nach dem Belastungstest am 05.07.05 auf Oxidierbarkeit mit folgenden Ergebnissen analysiert:

Permanganat-Index = 0,4 mg/l

KMnO_4 -Verbrauch = 1,6 mg/l

Somit werden als Grenzwerte 0,5 mg/l O_2 bzw. 2 mg/l KMnO_4 übernommen. Wie die Tabelle 4.4 und das Diagramm 4.7 zeigen, werden die Grenzwerte überschritten. Es ist allerdings nicht gleich auf eine unzureichende Elimination von organischen Inhaltsstoffen in dem Filterbett zu schließen. Zum einen sind die erhöhten Werte bereits vor dem Belastungstest festzustellen, zum anderen weist die Oxidierbarkeit im

Brunnenwasser des Nettebades im Verlaufe der Zeit sehr schwankende Werte auf. Wie aus der Tabelle 4.1 hervorgeht, ist der Kaliumpermanganat-Verbrauch im Juli 2005 noch unter 2 mg/l gewesen und hat im Februar 2006 einen viel höheren Wert von 8,2 mg/l angenommen. Da das Füllwasser dem Kreislauf kontinuierlich zugesetzt wird, kann sich dementsprechend der Bezugswert und somit der Grenzwert ändern.

Die Oxidierbarkeit der Filtratproben ist bei 3 von den 4 Messwerten jeweils dort höher, wo im Filter die Braunkohlekoksschicht nicht vermindert wurde. Es handelt sich um Abweichungen, bedingt durch die Messungenauigkeit des Verfahrens. Selbst an der an der gleichen Stelle entnommenen Probe A und Probe B unterscheiden sich die Messwerte bis zu 0,6 mg/l KMnO_4 .

Im Diagramm 4.8 ist der Gehalt an gebundenem Chlor im Rohwasser und im Filtrat dargestellt. Da jeweils Probe A und B gezogen wurden, sind im Diagramm die Mittelwerte aufgetragen. Die gemessene Konzentration im Filtrat liegt weit unter dem Grenzwert und natürlich unterhalb der Konzentration im Rohwasser. Nach der Filtration verbleiben im Wasser maximal 0,07 mg/l gebundenes Chlor. Bei einer reduzierten Braunkohlekoksschicht im Filter 2 nimmt das gebundene Chlor entsprechend etwas höhere Konzentrationen an. Der Unterschied beträgt maximal 0,04 mg/l. Da alleine die Messungenauigkeit des Photometers bei 0,03 mg/l liegt, ist die schlechtere Chlorelimination bei einer auf 75 % reduzierten Filterbetthöhe nicht bewiesen.

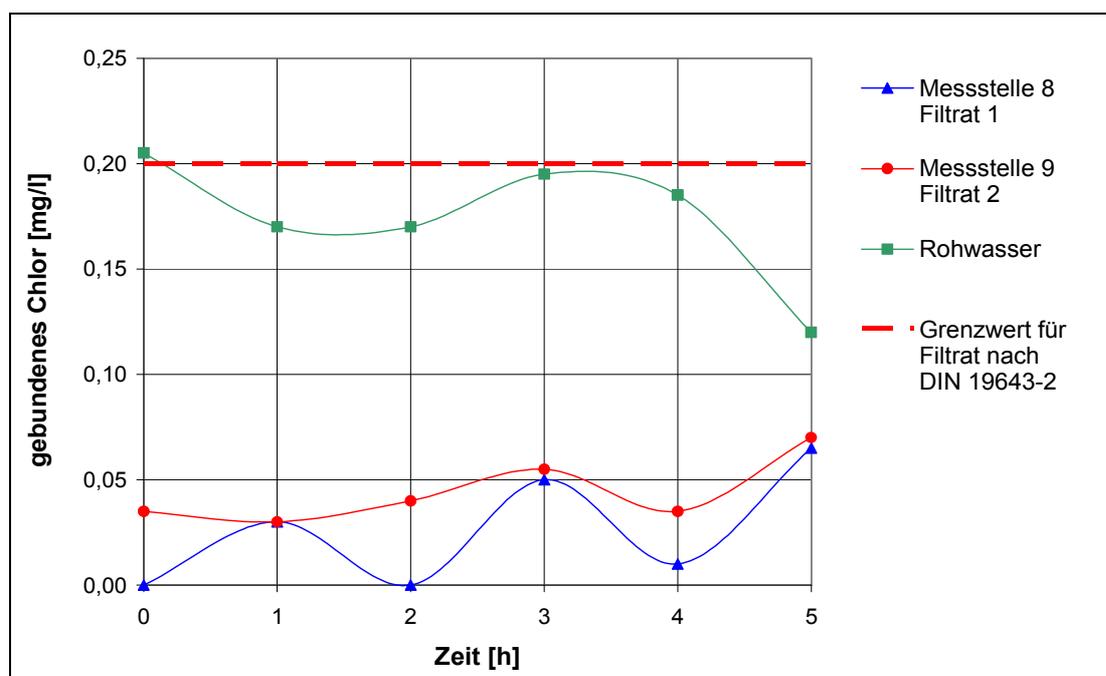


Diagramm 4.8: gebundenes Chlor im Filtrat während des Belastungstests

Auf Trihalogenmethane sind nur die Filtratproben geprüft worden. Vor dem Belastungstest sind die Konzentrationen bei allen vier Proben im zulässigen Bereich. Nach der Belastung werden etwas höhere Werte im Filtrat des kleineren Filters mit einer reduzierten Braunkohlekoksschicht gemessen. Dies erscheint logisch, da in diesem Fall für THM eine kleinere Adsorptionsfläche zur Verfügung stand.

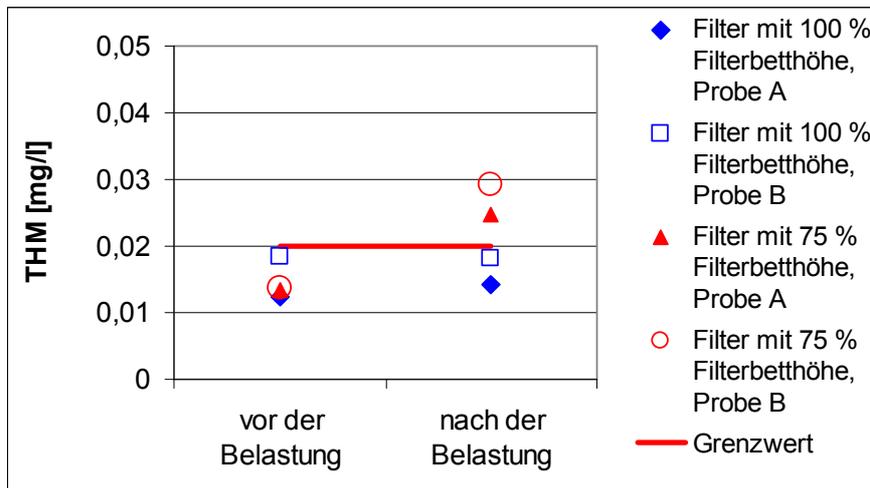


Diagramm 4.9: Trihalogenmethane in Filtratproben

Zur Beurteilung der Flockung werden der Aluminium- und der Phosphatgehalt herangezogen. Der Restgehalt an Ortho-Phosphaten ist stets unter 0,1 mg/l geblieben und ist somit eingehalten worden. Die Aluminiumsalze gelangen mit dem Flockungsmittel in das Rohwasser und dürfen im Filtrat in Restkonzentrationen von weniger als 0,05 mg/l verbleiben. Allerdings beträgt die Bestimmungsgrenze des angewendeten Verfahrens bereits 0,1 mg/l, so dass hier keine Aussage möglich ist. Einmal ist im Filtrat des kleineren Captura-Filters eine unzulässige Konzentration von 0,12 mg/l Al gemessen worden (s. Tabelle 4.4).

Reinwasser:

Das Reinwasser wurde mikrobiologisch auf *pseudomonas aeruginosa* und *legionella pneumophila* untersucht. Die Probenahme haben vor sowie nach dem Belastungstest stattgefunden. Alle Proben haben sich dabei als keimfrei erwiesen.

Von den chemischen Parametern wurde während des Belastungstests jede Stunde das freie Chlor aufgenommen. In der DIN-Norm wird eine Mindestgrenze von 0,3 mg/l angegeben, damit die anschließende Desinfektion im Becken ausreichend ist. Wie das Diagramm 4.10 zeigt, hat der Gehalt an freiem Chlor mit dem Testbeginn zugenommen und bewegte sich zwischen 0,99 und 1,37 mg/l.

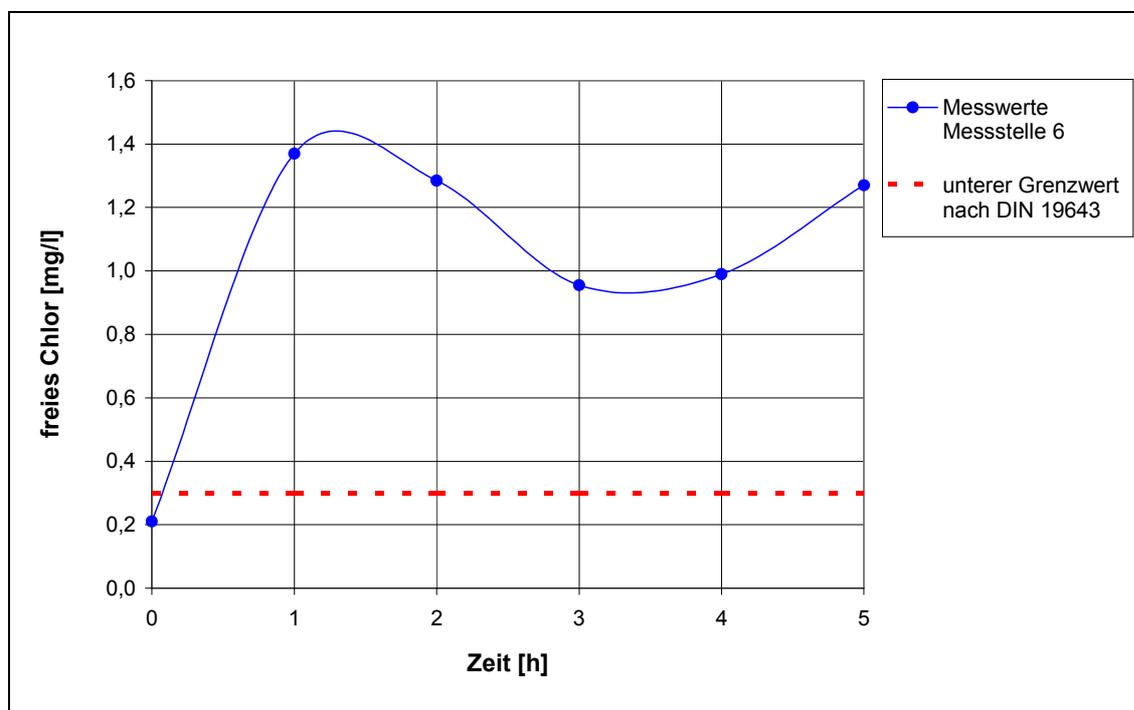


Diagramm 4.10: Freies Chlor im Reinwasser

4.2.6 Zusammenfassende Bewertung

Die einzelnen Untersuchungen im Rahmen der Funktionsprüfung nach Merkblatt 65.04 haben gezeigt, dass die Badewasseraufbereitung mit dem neuen Filtersystem Captura im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bis auf die Oxidierbarkeit den Anforderungen der DIN 19643 entspricht. Nach Stabilisierung des Füllwassers in Bezug auf die Oxidierbarkeit konnten auch dieser Wert eingehalten werden.

Mit den Färbeversuchen wurden in den sämtlichen Becken des Nettebades eine zeitgerechte und gleichmäßige Durchströmung nachgewiesen. Es wurden dabei auch keine Totzonen festgestellt.

Zur Wassererneuerung werden im Aktivbecken täglich ca. 5,8 m³ ausgetauscht. Diese Frischwasserzufuhr entspricht zwar nicht der höchsten DIN-konformen Nennbelastung, ist aber für die tatsächliche durchschnittliche Besucherzahl von ca. 84 Besucher/Tag mehr als ausreichend. Eine Anpassung an die maximale Nennbelastung nach DIN 19643 ist in Hinsicht eines sparsamen Umgangs mit Wasser nicht ratsam.

Im Rahmen des Belastungstests wurde die Wasseraufbereitung hygienisch bewertet. Das Aktivbecken wurde hierbei der höchsten Nennbelastung ausgesetzt und die Umwälzleistung auf 85 % reduziert. Die untersuchten chemischen Parameter im Beckenwasser lagen außer der Oxidierbarkeit stets innerhalb der Grenzwerte und haben zu dem noch eine stark ausgeprägte Konstanz aufgewiesen. Der Zusammenhang zwischen der Oxidierbarkeit im Beckenwasser und im Füllwasser sollte eventuell genauer überprüft werden. Es ist zu klären, ob bei einem höheren Kaliumpermanganat-Verbrauch des Beckenwassers nicht bereits im Füllwasser eine erhöhte Belastung mit Huminstoffen gegeben ist. Denn alle übrigen Parameter, wie Redox-Spannung, gebundenes Chlor haben auf sauberes Beckenwasser und gute Reinigungsleistung hingewiesen.

Weiterhin sind die Trihalogenmethane zu beanstanden. Gemessen wurde im Filtrat vor und nach dem Belastungstest. Vor der Belastung lagen die Messwerte im Normbereich der DIN 19643. Nach dem Belastungstest wurden entsprechend höhere Konzentrationen gemessen. Auf ein erhöhtes THM-Bildungspotential hat bereits die hohe Oxidierbarkeit hingewiesen. Zur Grenzwertüberschreitung kam es hierbei nur bei dem Filter mit verminderter Braunkohlekoksschicht. Es handelte sich nur um leicht erhöhte Werte. Zwar würde sich in der gemeinsamen Filtratleitung eine Mischkonzentration im Grenzwertbereich von 0,02 mg/l THM einstellen, im Beckenwasser ist allerdings eine höhere Belastung zu erwarten, es sei denn die THM haben sich zusätzlich im Filterbett entwickelt und wurden nur zum Teil zurückgehalten. Aufgrund der nicht ausreichenden Adsorption von THM im Filter 2 ist eine Halbierung der Braunkohlekoksschicht nicht zu empfehlen. Für eine genauere Aussage über die Rückhaltung von THM bedarf es nicht nur der Analyse des Filtrats sondern auch des Beckenwassers.

Von der mikrobiologischen Untersuchung des Beckenwassers wurde abgesehen und nur das Filtrat und das Reinwasser analysiert. Krankheitserreger wurden nicht nachgewiesen, koloniebildenden Einheiten waren in sehr minimaler Anzahl vorhanden.

4.3 Ermittlung der Energie- und Wasserverbrauchs einer Captura-Anlage im Vergleich zum konventionellen Drucksandfilter

4.3.1 Ziel

In diesem Projektabschnitt soll unter realen Bedingungen an einer Pilotanlage im Nettebad der Verbrauch an Wasser und Strom ermittelt werden. Für die Untersuchungen im Nettebad wird die bereits im Rahmen einer Funktionsprüfung (s. Kapitel 4.2) ausgetestete Captura-Anlage im Kreislauf „Aktivbecken“ ausgewählt. Der Energieverbrauch ist bei drei unterschiedlichen Einstellungen der Umwälzleistung zu ermitteln: bei 100 %, 80 % und 60 %. Zum Vergleich soll der Ressourcenverbrauch eines konventionellen Druckfilters im Schinkelbad Osnabrück gegenübergestellt werden.

4.3.2 Druckfilteranlage im Schinkelbad



Abb. 4.15: Warmbecken im Schinkelbad

Die Captura-Anlage im Kreislauf „Aktivbecken“ wird im vorangegangenen Kapitel 4.2.2 ausführlich beschrieben. Als Vergleichsanlage dient der Kreislauf „Warmbecken“ im Schinkelbad, dessen Wasser dezentral mit einem Druckfilter aufbereitet wird. Es handelt sich ebenfalls um ein Variobecken mit einer Fläche von 141,1 m² und einer Tiefe von 1,8 m. Die Temperatur des Beckenwassers wird bei 32 °C annähernd konstant gehalten.

Das Badewasser wird mit der Verfahrenskombination „Flockung – Filtration - Chlorung“ aufbereitet. Das zugehörige Verfahrensfliessbild ist in Abb. 4.16 dargestellt.

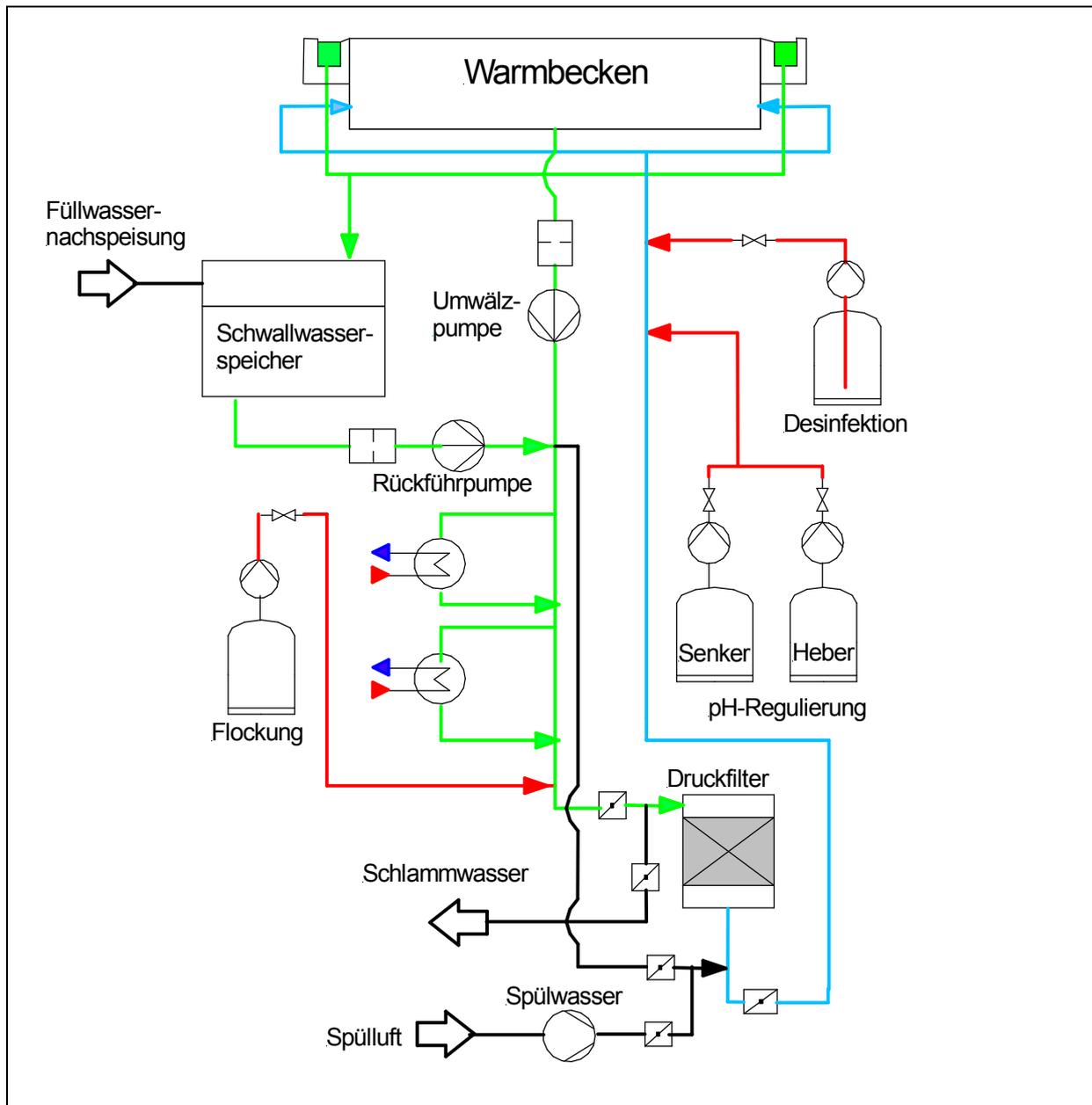


Abb. 4.16: Verfahrensfließbild zum Kreislauf Warmbecken im Schinkelbad

Beim Umwälzbetrieb gelangt das Badewasser durch ständige Überflutung des Warmbeckens in den Schwallwasserspeicher. Der Füllstand im Schwallwasserbehälter besitzt eine Pegelsteuerung mit Magnetventil. Zum Niveauegleich wird hier das Frischwasser nachspeist.

Das Wasser aus dem Schwallwasserbehälter wird von einer Rückföhrpumpe über die Bodenabsaugleitung angesaugt (s. Abb. 4.17). Eine andere Pumpe, die Umwälzpumpe, leitet das Wasser direkt aus dem Warmbecken zum Filter ab. Diese Umwälzpumpe bleibt während der Filtration ständig in Betrieb.

Im Kreislauf „Warmbecken“ ist kein Spülwasserspeicher enthalten. Zur Filterspülung wird das Wasser aus dem Schwallwasserbehälter verwendet. Gespült wird dabei mit

der Rückförpumppe. Die Spülung wird manuell durchgeführt. Nach der Filterspülung wird die Umwälzpumpe wieder in Betrieb genommen. Die Rückförpumppe bleibt so lange ausgeschaltet, bis der Füllstand im Schwallwasserbehälter wieder erreicht ist. Die Umwälzleistung fällt innerhalb dieser Zeit auf ca. 80 % ab.

Vor den Pumpen befinden sich die Grobschmutzfänger, die das Rohwasser hauptsächlich von Haaren und Fasern befreien. Da dem Schwallwasser ein kaltes Füllwasser zugemischt wird, fließt das Rohwasser im Bypass durch die Wärmetauscher. Nach der Erwärmung werden die beiden Rohrleitungszweige zu einer gemeinsamen Rohwasserleitung zusammengeführt.

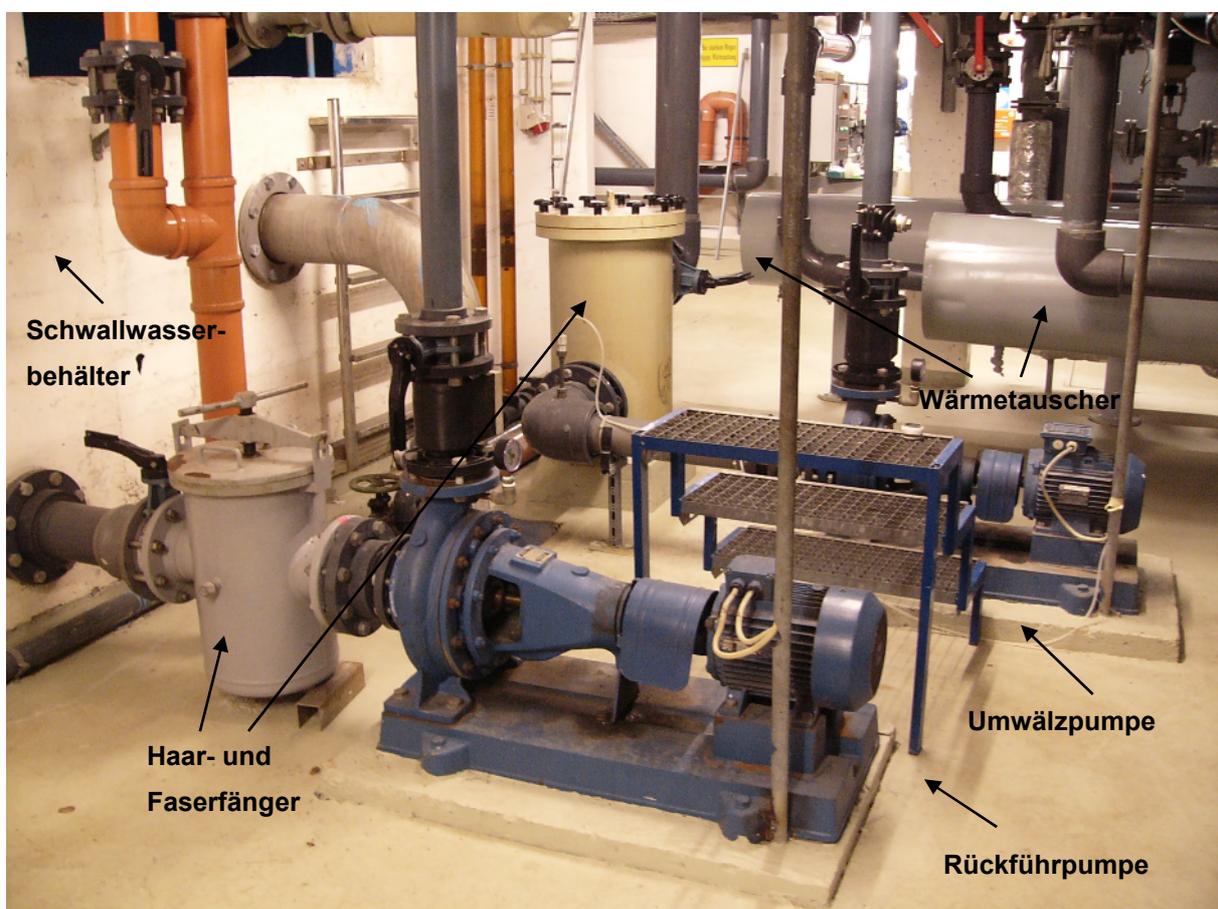


Abb. 4.17: Schwallwasserbehälter, Wärmetauscher, Umwälzpumpen, Haar- und Faserfänger im Kreislauf Warmbecken (Schinkelbad)

Vor dem Eintritt in den Filter wird über eine Dosierpumpe das Flockungsmittel zugegeben. Die anschließende Filtration erfolgt mit dem Druckfilter der Fa. Grünbeck. Es handelt sich um einen geschlossenen Mehrschichtfilter. Der Filtermantel besteht aus Stahl. Der innere Filterdurchmesser beträgt 1600 mm und die Fläche 2,01 m². Das Filterbett setzt sich aus grobem und feinem Kies sowie Braunkohlekoks zusammen.

Der zulässige Überdruck im Filter beträgt 1,5 bis 3 bar. Der Druck wird dabei von den Umwälzpumpen aufgebaut.



Abb. 4.18: Druckfilter Fa. Grünbeck im Schinkelbad

Die Verschmutzung des Filters ist an dem eingebauten Differenzdruckmanometer zu erkennen. Die Filterreinigung muss dann bei einem Differenzdruck von 0,3-0,5 bar durchgeführt werden. Die Filterspülung wird drei Mal in der Woche, montags, mittwochs und freitags, manuell durchgeführt. Die Dauer der einzelnen Spülschritte ist nicht eindeutig definiert, sondern ein bestimmter Bereich festgelegt. Je nach Verschmutzungsgrad variiert dann die jeweilige Spülung in dem vorgegebenen Bereich.

Tabelle 4.5: Filterbett des Druckfilters Fa. Grünbeck

Schicht	Filtermaterial	Körnung [mm]	Schüttungshöhe [mm]
unten	Grobkies	7 - 15; 3 - 7; 1 - 2	300
mittlere	Feinkies	0,7 - 1,2	550
obere	Braunkohlekoks	0,8 - 1,6	350

Nach der Filtration werden dem Wasser zur pH-Wert-Regulierung Natronlauge oder Schwefelsäure zugesetzt. Anschließend erfolgt die Desinfektion mit Calciumhypochlorit. Dieses liegt in Tablettenform vor und wird erst in Wasser aufgelöst. Das aufbereitete Reinwasser wird schließlich über die Einlaufdüsen direkt in das Warmbecken eingespeist.

4.3.3 Filterleistung der Versuchsanlagen

Im Folgenden werden die Umwälzleistung und die Filtergeschwindigkeit in den beiden Versuchsanlagen im Nettebad und im Schinkelbad bezüglich der DIN-Konformität überprüft. In beiden Fällen wird die Verfahrenskombination Flockung – Filtration - Chlorung eingesetzt. Bei den Becken handelt es sich um Variobecken, so gilt Gl. 4-2:

$$Q = \frac{0,37 \cdot A}{m^2 \cdot h} \cdot \frac{1}{k}$$

Der Faktor 0,37 ist ein Kehrwert der personenbezogenen Wasserfläche, die rechnerisch jedem Badegast eines Variobeckens zugeordnet wird. Der Belastbarkeitsfaktor k dient der Anpassung der Umwälzleistung an die Reinigungsleistung der benutzten Verfahrenskombination als auch an die Verteilung des Desinfektionsmittels im Becken sowie an den Austrag von Verunreinigungen. Bei einem Belastbarkeitsfaktor von $0,5 \text{ m}^{-3}$ ergibt sich für jeden in ein Becken hineingehenden Badegast 2 m^3 Reinwasser.

In der Tabelle 4.6 werden die DIN-konformen Parameter den realen Werten gegenübergestellt. Die Umwälzmenge ist hierzu mit dem Ultraschall-Durchflussmesser „Transport Modul PT 868“ der Fa. PANAMETRICS überprüft worden. Die Umwälzmenge und die vorgeschriebene Filtergeschwindigkeit bestimmen die Filterdimensionen. Für geschlossene Schnellfilter und Süßwasser ist eine Filtergeschwindigkeit von $v \leq 30 \text{ m/h}$ einzuhalten.

Tabelle 4.6: Umwälzung im Aktiv- und im Warmbecken

		Captura-Anlage, Aktivbecken, Nettebad		Druckfilter, Warmbecken, Schinkelbad	
		DIN-Vorgabe	Ist-Wert	DIN-Vorgabe	Ist-Wert
Beckenfläche	m ²		97		
Umwälzleistung	m ³ /h	72	72	104	64
Filterfläche	m ²	≥ 2,4	3,00	3,5	2,0
Filtergeschwindigkeit	m/s	≤ 30	24	≤ 30	32

In dem Kreislauf „Aktivbecken“ werden alle Parameter eingehalten. Da die Filterfläche etwas größer als gefordert ist, stellt sich auch eine langsamere Filtergeschwindigkeit von 24 m/h ein. Je langsamer die Filtergeschwindigkeit ist, desto effektiver wird der Filtrationsvorgang.

Der gemessene Volumenstrom der Druckfilteranlage von 64 m³/h entspricht nicht der DIN-gerechten Nennumwälzleistung. In dem Kreislauf „Warmbecken“ sollte ein größerer Filter mit mindestens 3,5 m² Filterfläche installiert werden, so könnte auch ein höherer Durchfluss eingestellt werden. Bereits bei der gegenwärtigen Umwälzleistung ist die Filtergeschwindigkeit mit 32 m/h leicht überschritten.

4.3.4 Durchführung

4.3.4.1 Kreislauf „Aktivbecken“ im Nettebad

Der Kreislauf „Aktivbecken“ wurde innerhalb von 12 Wochen bei unterschiedlichen Volumenströmen (Umwälzleistung) untersucht. Die Umwälzleistung wurde alle 4 Wochen um jeweils 20 % reduziert. Insgesamt ergaben sich 3 Testphasen.

In der ersten Phase wurde die Filteranlage mit Volllast gefahren. Die 100 %ige Umwälzleistung betrug gemäß DIN 19643 72 m³/h. Der Ist-Wert konnte an den jeweiligen Durchflussmessern der beiden Filtratleitungen abgelesen werden.

Nach 4 Wochen wurde die Umwälzleistung auf 80 % bzw. 58 m³/h und in der letzten Testphase auf 60% bzw. 43 m³/h reduziert.

Zur Übersicht sind die Sollwerte in Tabelle 4.7 dargestellt.

Tabelle 4.7: Umwälzleistung der einzelnen Testphasen

Versuch	Umwälzleistung		Geschwindigkeit [m/h]
	[%]	[m ³ /h]	
1.	100	72	24
2.	80	58	19
3.	60	43	14

Die Spülintervalle wurden auf 74 h festgelegt, so dass sich die Filterspülung zweimal wöchentlich auslöste.

Im Laufe der einzelnen Versuche wurde der Energieverbrauch der beiden Filtrationspumpen zweimal in der Woche registriert. Die Werte konnten an einem separaten Stromzähler abgelesen werden.

Der Wasserverbrauch resultierte aus dem Stets- und Netzwasserzulauf (s. Abb. 4.2), die zusammen die Füllwassernachspeisung ergeben haben. Die Werte konnten online aufgerufen werden. Der Füllwasserverbrauch wurde außerdem vom Bedienungspersonal ins Betriebstagebuch eingetragen.

Innerhalb jeder Versuchsphase wurde der hygienische Zustand des Badewassers mit der Prozessmesstechnik und der quantitativen Probeanalyse sichergestellt.

Die Hygiene-Hilfsparameter, freies Chlor, pH-Wert und Redox-Spannung, wurden von der Mess- und Regelanlage W&T Depolox Pool (s. Abb. 4.7) angezeigt. Chlorkonzentration und pH-Wert wurden täglich vom Betriebspersonal durch manuelle Messungen kontrolliert.

Für die mikrobiologische Analyse auf *Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* und koloniebildende Einheiten wurde die Gesellschaft für Umweltanalytik beauftragt. Untersucht wurden das Reinwasser, das Beckenwasser und das Filtrat. Die Wasserproben wurden von den FH-Mitarbeitern an den dafür eingerichteten Zapfstellen entnommen (s. z. B. Abb. 4.12). Die Probenahme lief sachgerecht nach der Norm DIN 38402-19 ab. Die Zapfhähne sollten steril sein und wurden vor der Probenahme abgeflammt. Dann wurde ca. 1 l Wasser abgelassen, um Verunreinigungen und verbliebene Keime in möglichen Totzonen auszuspülen. Vom Beckenwasser wurde eine Schöpfprobe etwa 50 cm vom Rand im oberflächennahen Bereich genommen. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, gab es jeweils zwei Proben, „A“ und „B“. Für die Untersuchung auf Legionellen waren Glasflaschen zu verwenden, die jeweils vollgefüllt wurden, um Lufteinschlüsse zu vermeiden. Für die Untersuchung auf übrige Keime kamen Kunststoffflaschen zum Einsatz. Sie enthielten Thiosulfat und wurden zu 2/3 aufgefüllt. Das Thiosulfat verhinderte eine weitere Reaktion des freien Chlors.

Gleich nach der Probenahme wurden die Wasserproben ins Labor der GUA gebracht. Die Kunststoffflaschen wurden auf Eis gelegt. Damit sollte beim Transport der Proben das weitere Keimwachstum verhindert werden. Bei Legionellen war eine Kühlung nicht erlaubt. Bei niedrigen Temperaturen sterben diese Bakterien ab. Bei der Bebrütung im Labor würden sich dementsprechend keine Kolonien bilden.

Bei Vollastbetrieb mit 100 % Umwälzleistung wurden die Proben zu Beginn und am Ende der Testphase gezogen. Mit jeder weiteren Reduzierung der Umwälzleistung hat die Probenahme häufiger stattgefunden, damit eine Verschlechterung der Wasserqualität frühzeitig erkannt werden konnte. Infolge einer reduzierten Umwälzleistung verringerte sich im Becken dementsprechend der Austrag von Verunreinigungen. Es wurde weniger Beckenwasser gegen Reinwasser ausgetauscht. Andererseits sank die Filtrationsgeschwindigkeit und verbesserte die Rückhaltung von Verschmutzungen im Filterbett. Es handelte sich um einen gegenläufigen Effekt. Ob das Beckenwasser sich dann mit den Schwebstoffen anreicherte, war zu kontrollieren. Bei 80 % und 60 % der Umwälzmenge wurde deshalb eine Trübungsmessung des Beckenwassers durchgeführt. Hierzu wurden in den Ecken und in der Mitte des Beckens, ca. 30 cm unter der Wasseroberfläche Proben genommen. Die Trübung wurde mit dem Spektralphotometer CADAS 100 der Fa. DR Lange im Labor für Verfahrenstechnik der Fachhochschule Osnabrück bestimmt.

Auf THM und Oxidierbarkeit wurde nur das Beckenwasser analysiert. Die Probenahme fand erst später, nach den eigentlichen Versuchen statt. Hierzu wurde die Umwälzleistung auf 60 % eingestellt. Erst nach einer Woche Betrieb wurden die Proben gezogen und an die GUA übergeben.

4.3.4.2 Kreislauf Warmbecken im Schinkelbad

Damit ein Vergleich des Druckfilters mit der Captura-Technik möglich war, wurden im Kreislauf Warmbecken im Schinkelbad gleiche Parameter wie im Nettebad aufgenommen. Die Versuchsanlage arbeitete wie im Realbetrieb. Alle Prozessgrößen wie Umwälzleistung oder Spülinterwalle blieben unverändert.

Innerhalb von 4 Wochen wurden vom Schwimmbadtechniker täglich die Hygiene-Hilfsparameter und Füllwassernachspeisung aufgenommen.



Entnahmestelle für Filtrat

Entnahmestelle für Reinwasser

Abb. 4.19: Probeentnahmestellen im Kreislauf Warmbecken

Für die mikrobiologische Untersuchung wurden Proben in der Reinwasserleitung, in der Filtratleitung (Abb. 4.19) und im Becken gezogen. Als es sich herausgestellt hat, dass Filtrat mit Legionellen verkeimt war, wurden die Proben erneut genommen. Dabei wurde das zuerst ablaufende Wasser nicht wie sonst verworfen, sondern gleich in der Probeflasche aufgefangen. Man ließ das Filtrat weiter laufen, so dass nach 5 und nach 10 Minuten zwei weitere Proben genommen wurden.

Im Kreislauf Warmbecken gab es für die Umwälzpumpen keinen separaten Stromzähler. Die Pumpen arbeiteten mit einer konstanten Drehzahl. Der Stromverbrauch wurde deswegen anhand der Leistungsaufnahme, die vom Hersteller auf dem Typenschild angegeben war, ermittelt.

4.3.5 Ergebnisse

4.3.5.1 Energieverbrauch

Captura-Filteranlage:

Die registrierte Stromaufnahme der Umwälzpumpen im Kreislauf „Aktivbecken“ wird im Diagramm 4.11 grafisch dargestellt. Auf der Ordinate ist die Anzeige des Stromzählers eingetragen. Die Zeitachse gibt die Dauer der einzelnen Versuche von ca. 4 Wochen wieder. Zu Beginn wird ein Zählerwert von 7.447 kWh registriert, der als Nullmarke zu verstehen ist. Nach 100 h zeigt der Stromzähler 7.832 kWh an. Bei einer Umwälzleistung von 100 % werden innerhalb von 100 h somit 385 kWh verbraucht. Der Zählerwert steigt kontinuierlich an, so dass die nächste Testphase mit 80 % Umwälzleistung schon bei 10.175 kWh als Nullmarke startet.

Mit der Zeit ergibt sich für den Energieverbrauch eine Gerade. Die Steigung entspricht der mittleren Leistungsaufnahme und kann direkt aus der Geradengleichung abgelesen werden.

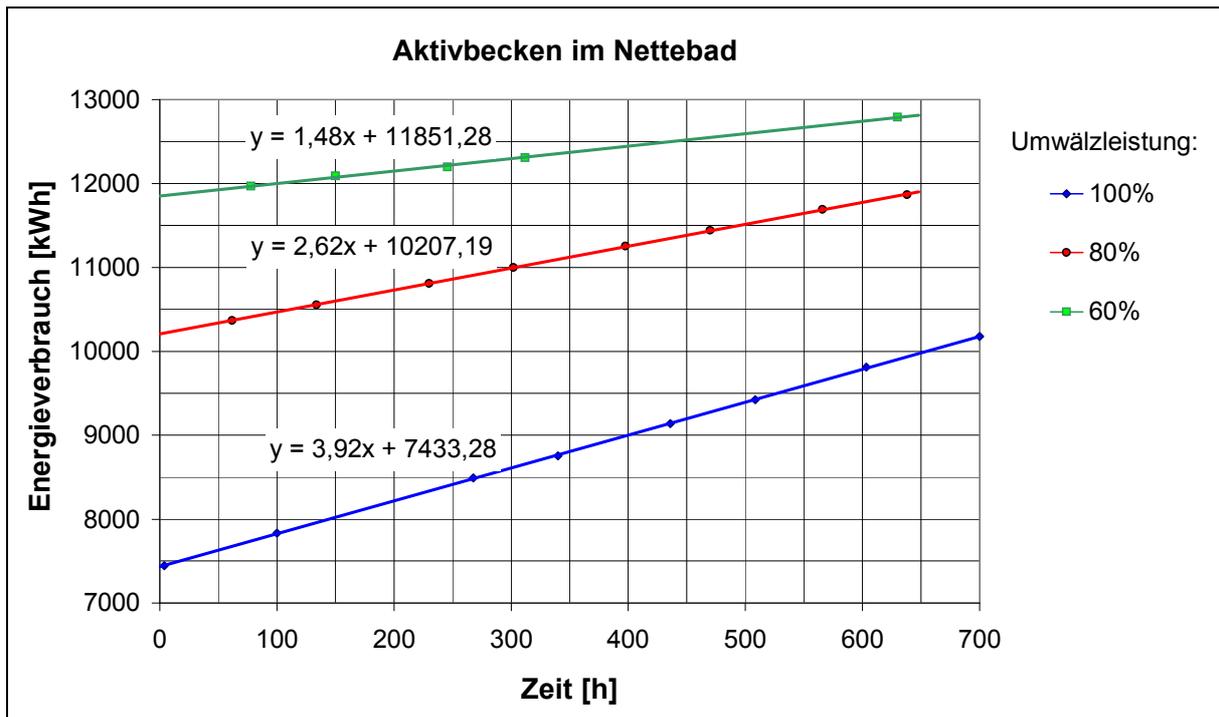


Diagramm 4.11: Energieverbrauch der Captura-Filter im Kreislauf Aktivbecken

Druckfilter:

Der gemessene Volumenstrom im Kreislauf „Warmbecken“ beträgt 64 m³/h. Dieser Förderstrom wird von zwei Pumpen umgewälzt. Da für die Pumpen kein separater Stromzähler angebracht ist, wird für eine überschlägige Berechnung die Pumpenleistung den Typenschildern entnommen:

Rückförpumpe: 3 kW

Umwälzpumpe: 4,5 kW

Die gesamte Leistungsaufnahme beträgt somit 7,5 kW.

4.3.5.2 Füllwasserzusatz

Captura-Filteranlage:

Der Füllwasserzusatz im Aktivbecken (Nettebad) ist in Diagramm 4.12 dargestellt. Das Füllwasser setzt sich aus zwei Strömen zusammen: dem Netzwasser und dem Stetszulauf.

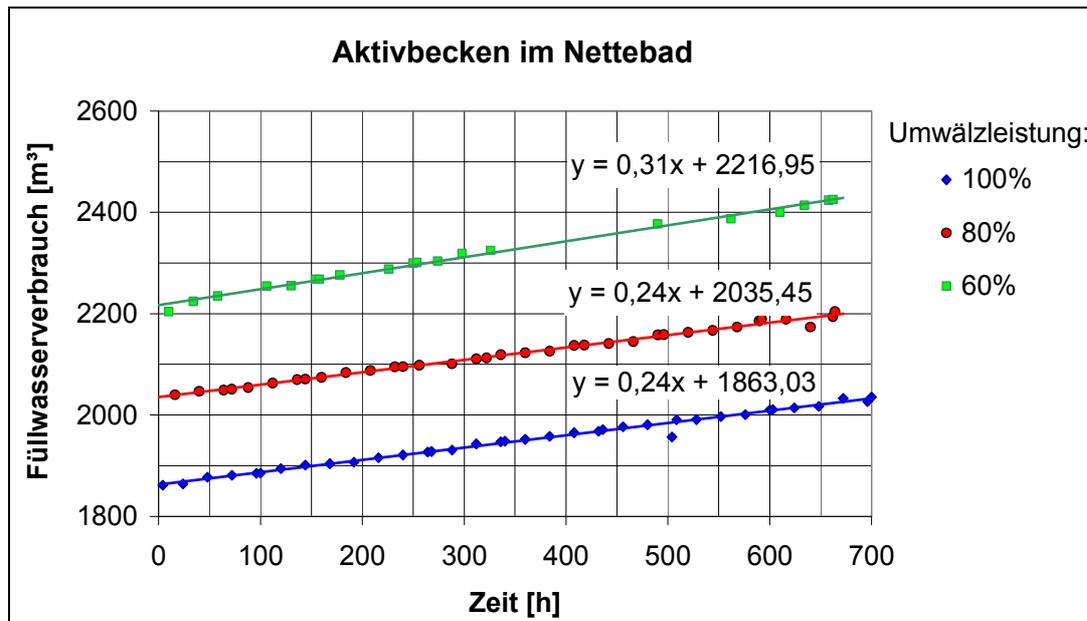
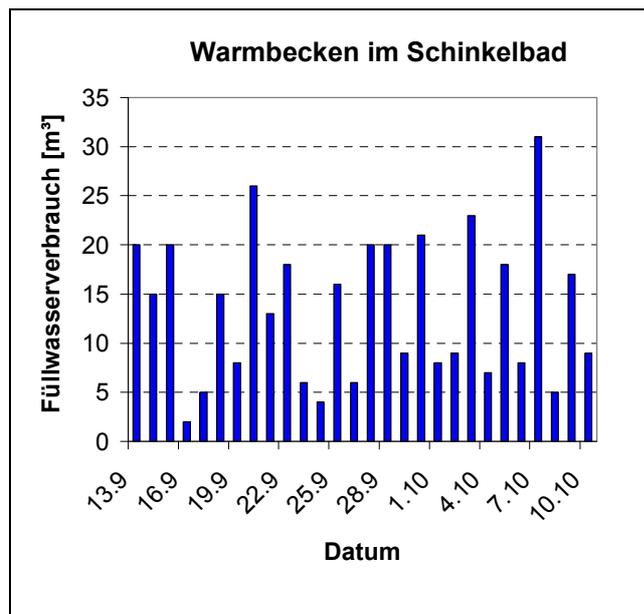


Diagramm 4.12: Füllwasserverbrauch im Kreislauf Aktivbecken

Druckfilter:



Das im Kreislauf „Warmbecken“ (Schinkelbad) zugeführte Füllwasser ist dem Diagramm 4.13 zu entnehmen. Während im Diagramm 4.12 ein ansteigender Wert des Wasserzählers im Aktivbecken gegen die Zeit aufgetragen wird, ist hier der tägliche Wasserverbrauch dargestellt. Der betrachtete Zeitraum beträgt 28 Tage. Die Werte werden aufsummiert und ergeben eine gesamte Füllwassermenge von 378 m³.

Diagramm 4.13: Füllwasserzusatz im Kreislauf Warmbecken

4.3.5.3 Hygiene-Hilfsparameter

Diagramm 4.14 - Diagramm 4.21 zeigen den zeitlichen Verlauf der Hygiene-Hilfsparameter im Aktivbecken (Nettebad) und zum Vergleich der Wasserqualität die Messwerte aus dem Kreislauf „Warmbecken“ (Schinkelbad).

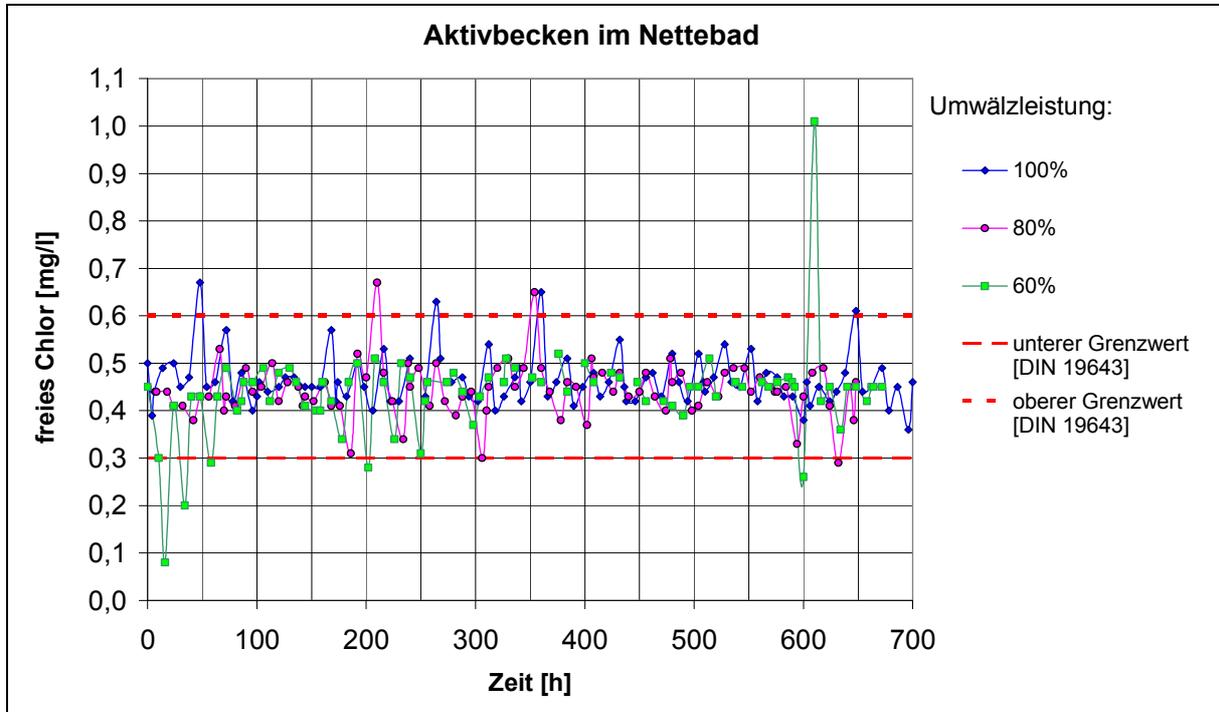


Diagramm 4.14: Freies Chlor im Aktivbecken

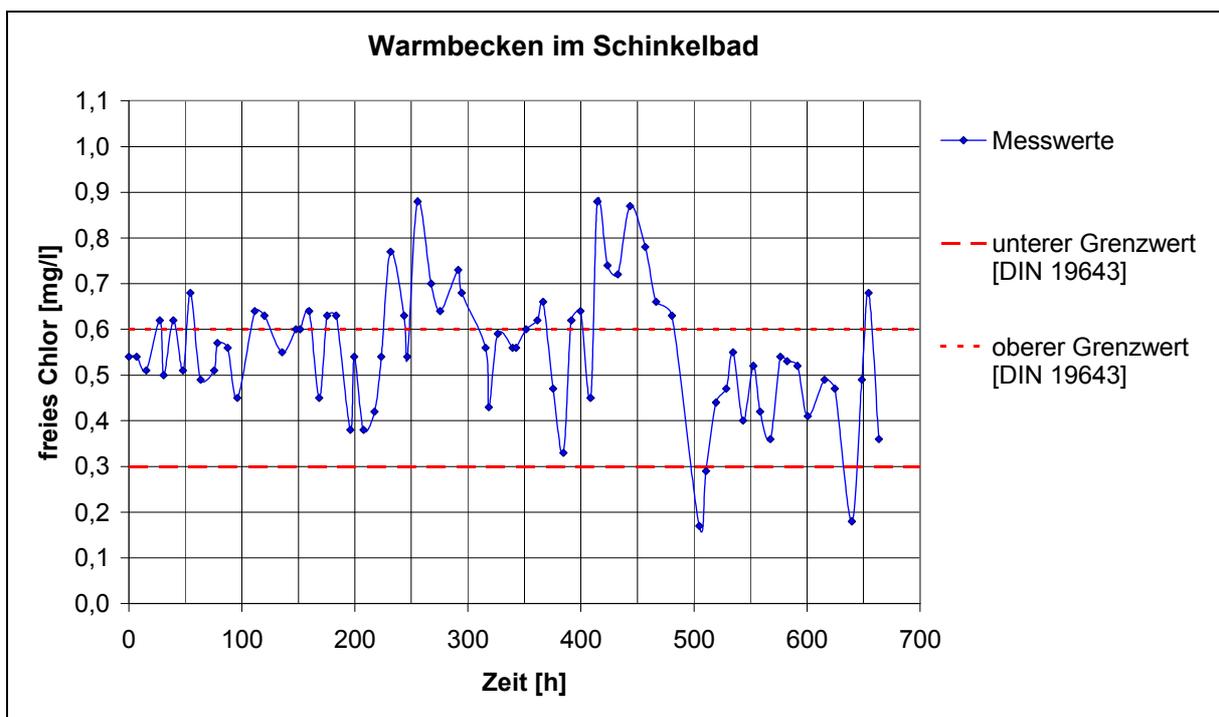


Diagramm 4.15: Freies Chlor im Warmbecken

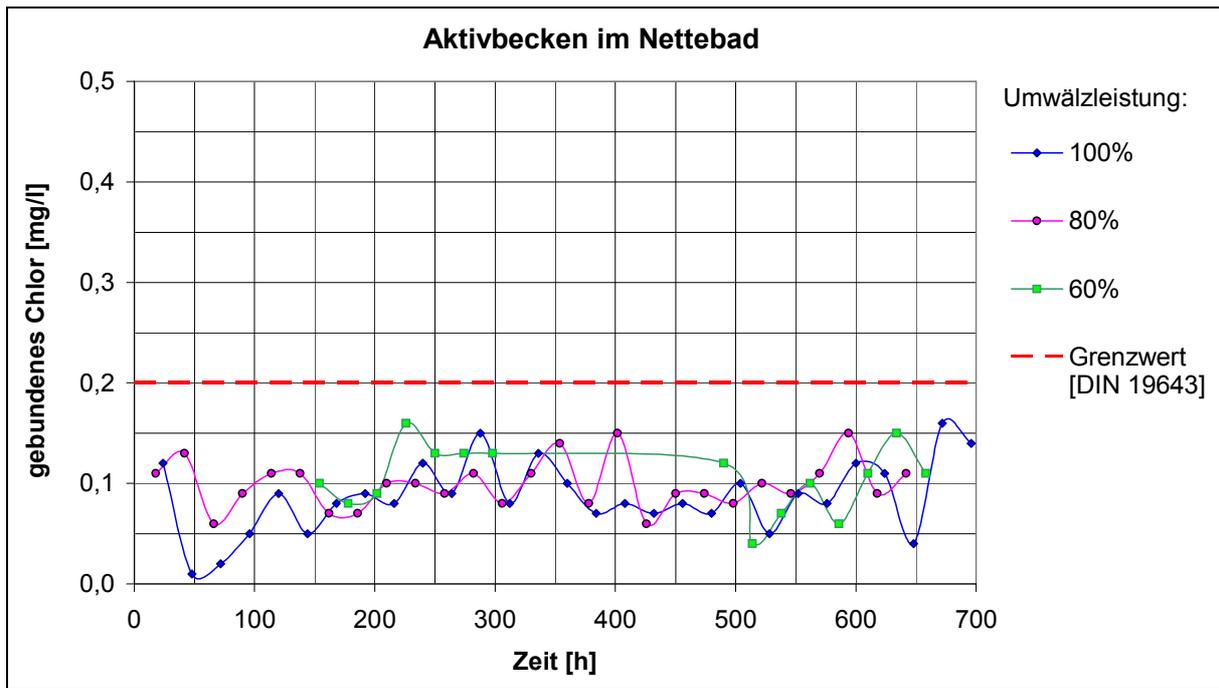


Diagramm 4.16: gebundenes Chlor im Aktivbecken

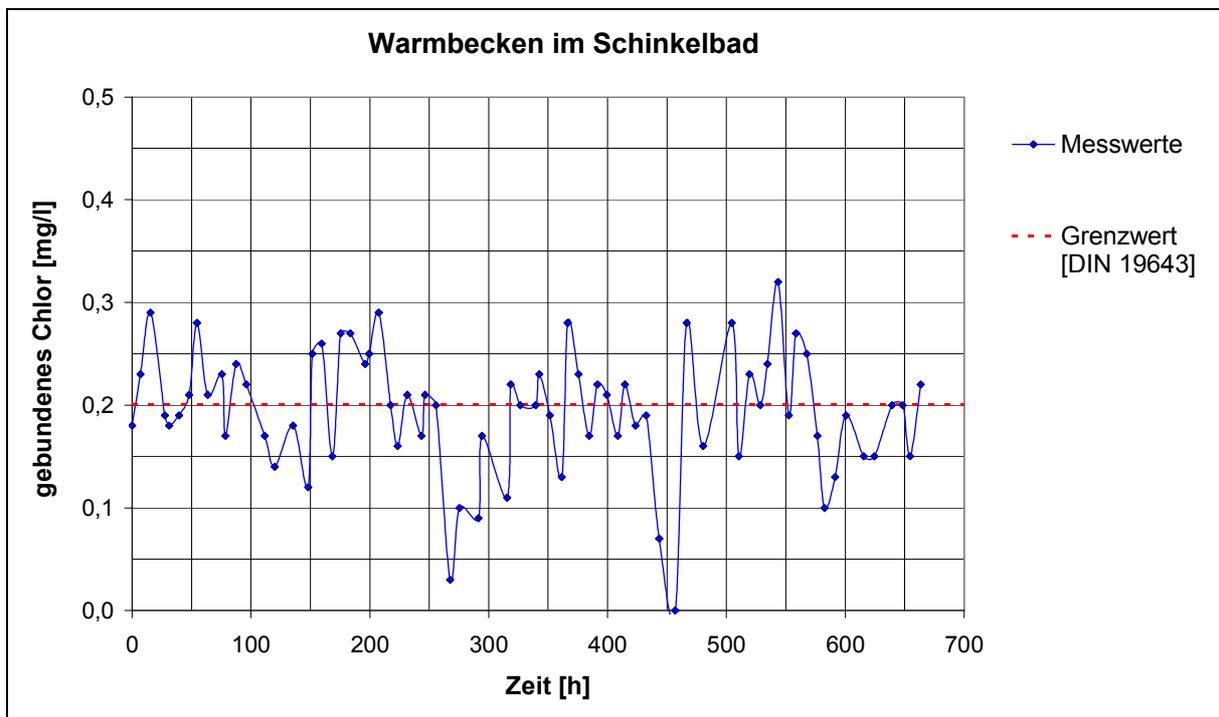


Diagramm 4.17: gebundenes Chlor im Warmbecken

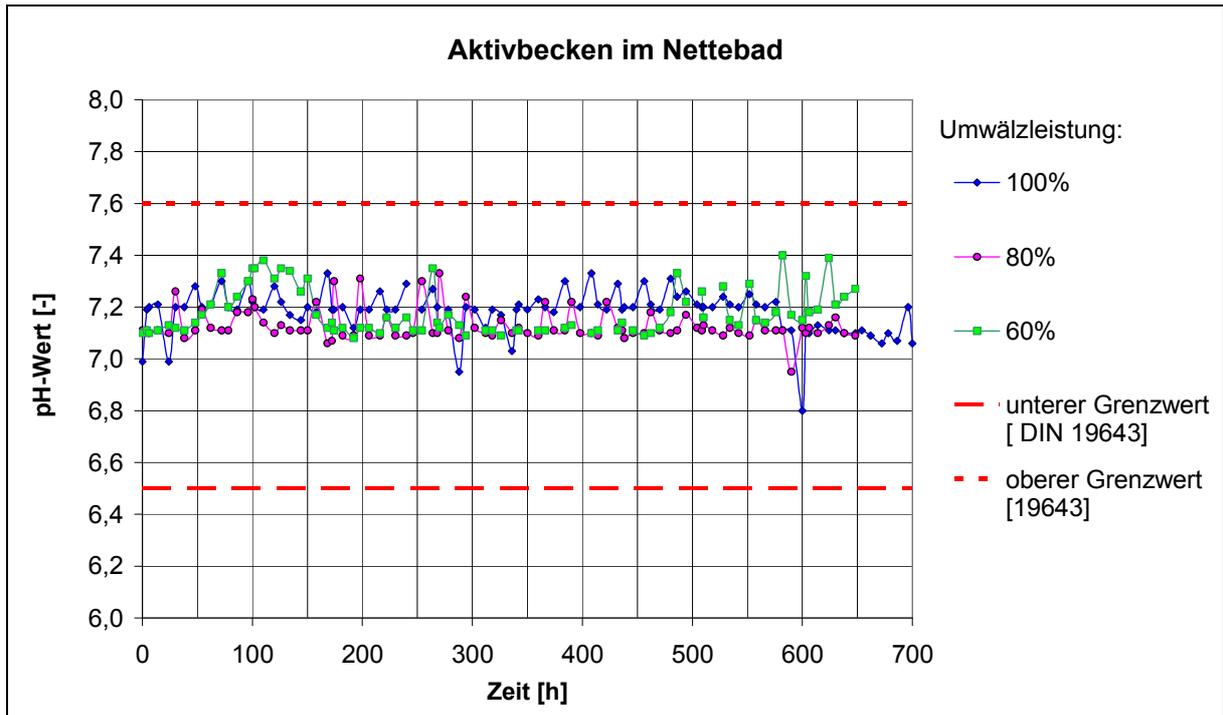


Diagramm 4.18: pH-Wert-Verlauf im Aktivbecken

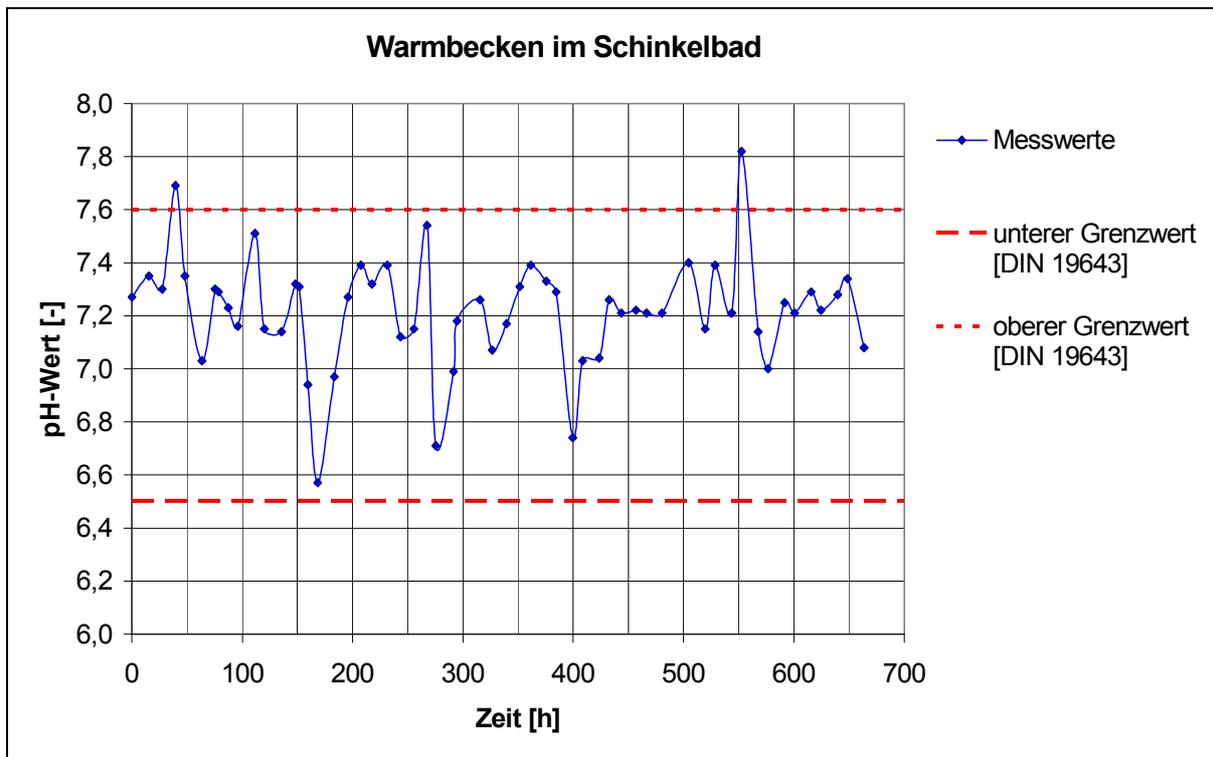


Diagramm 4.19: pH-Wert-Verlauf im Warmbecken

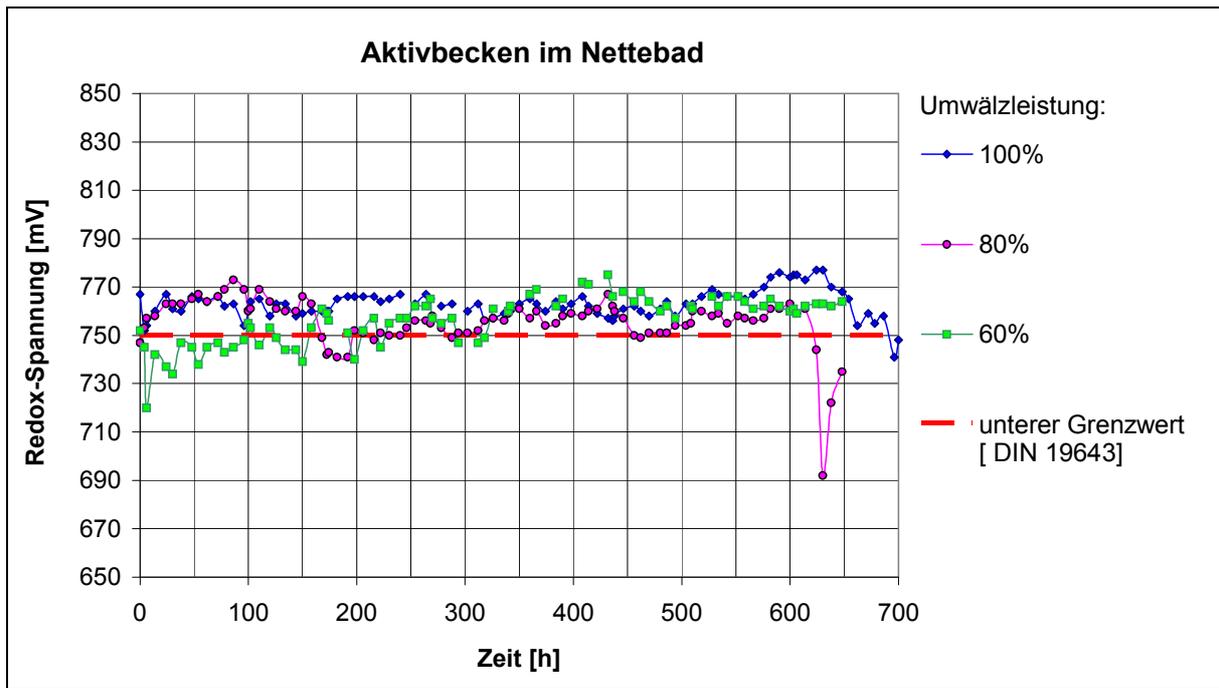


Diagramm 4.20: Redox-Spannung im Aktivbecken

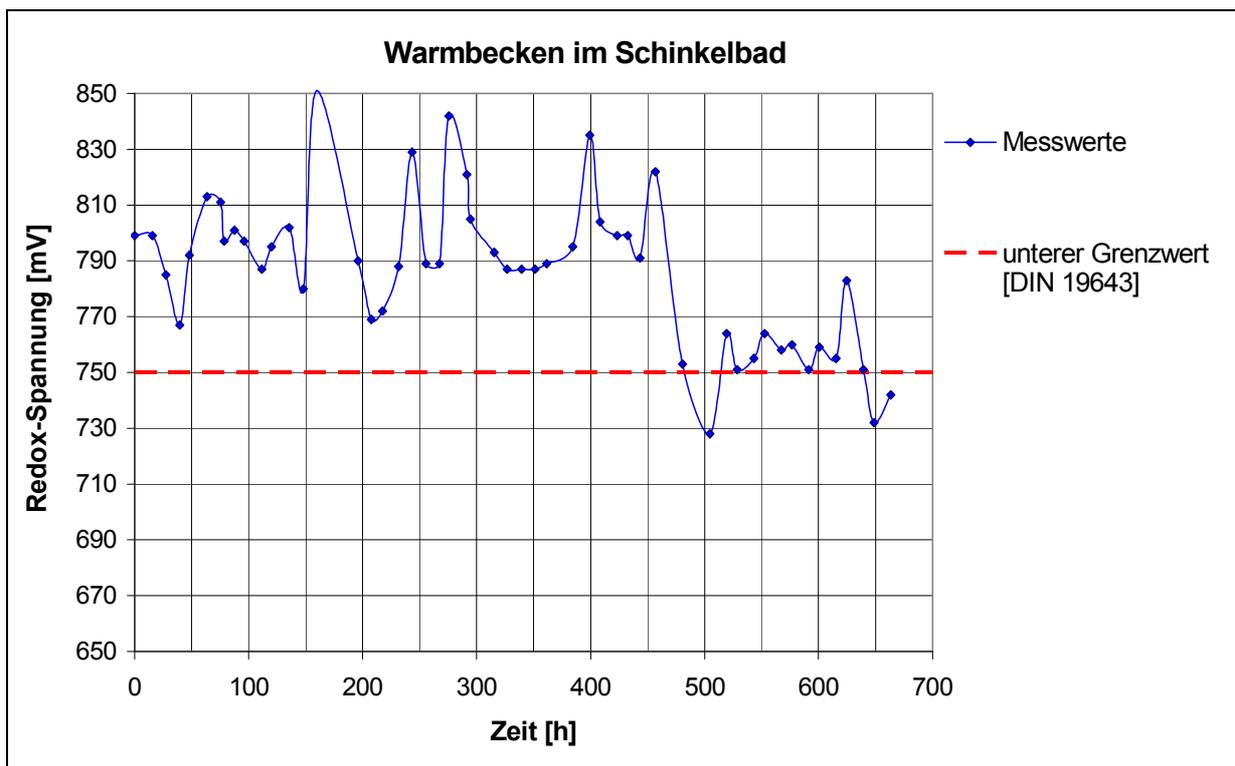


Diagramm 4.21: Redox-Spannung im Warmbecken

4.3.5.4 Besucherzahlen

Im Diagramm 4.22 sind die Besucherzahlen im Nettebad veranschaulicht. Sie werden täglich an der Kasse registriert. Es zeigt sich, dass das Nettebad täglich im Durchschnitt von ca. 1600 Personen besucht wird. Wie stark dann die einzelnen Becken belastet werden, wird nicht erfasst. Die Belastung des Aktivbeckens ist bereits in den früheren Untersuchungen (s. Kapitel 4.2.4) ermittelt worden und beträgt im Durchschnitt 84 Personen/Tag. Eine Korrelation zu der gesamten Besucherzahl im Nettebad hat es nicht gegeben. Das Aktivbecken wird an den Werktagen für unterschiedliche Kurse genutzt, wie Wassergymnastik oder Kleinkinderschwimmen, und steht deshalb der Öffentlichkeit nur wenige Stunden zur Verfügung. Die Personenanzahl in den jeweiligen Gruppen ist festgelegt und hängt nicht von der Gesamtbesucherzahl ab. Man kann daher annehmen, dass sich die Besucherzahl im Aktivbecken und somit der Verschmutzungsgrad des Beckenwassers in den Versuchen mit einer reduzierten Umwälzleistung nicht entscheidend verändert hat.

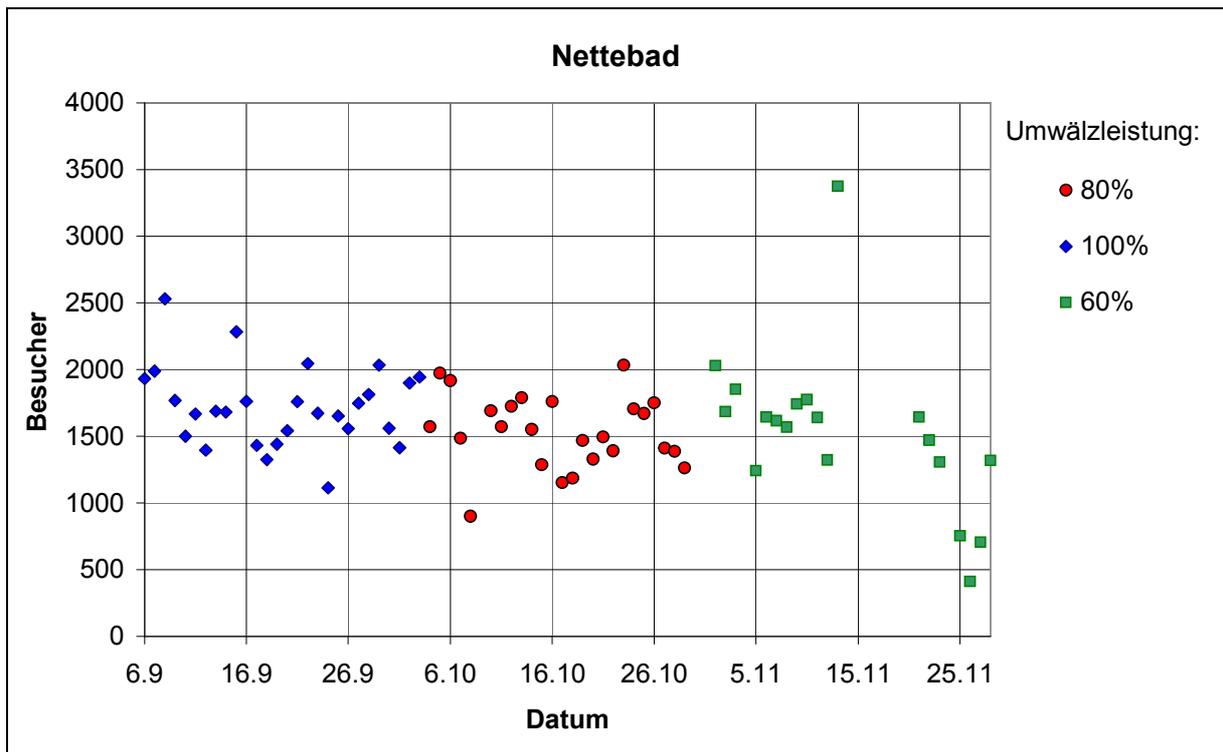


Diagramm 4.22: Besucherzahlen im Nettebad

Im Schinkelbad werden die Besucherzahlen des Warmbeckens extra aufgenommen. Vom 13.09.05 bis 10.10.05 sind die Zahlen im Diagramm 4.23 aufgetragen.

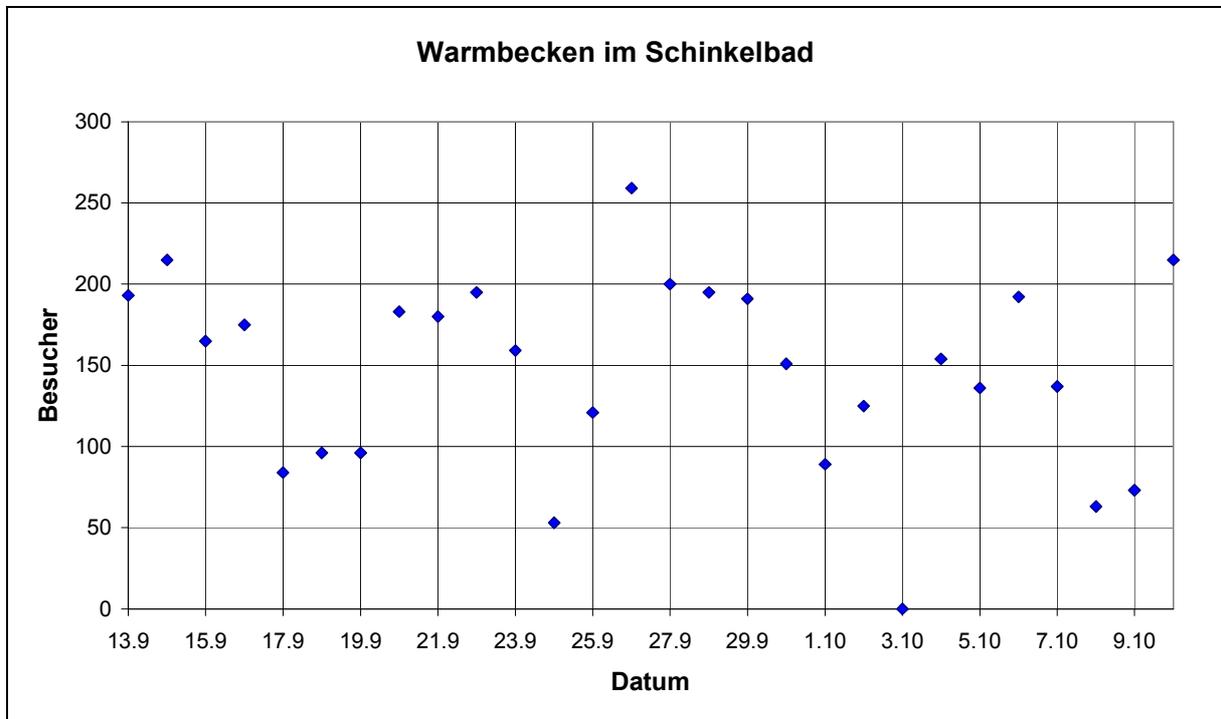


Diagramm 4.23: Besucherzahlen des Warmbeckens

Das Warmbecken im Schinkelbad wird im Durchschnitt von 150 Badegästen/Tag besucht. Die Schwankungen um den Mittelwert liegen bei ca. 44 Personen.

4.3.5.5 Ergebnisse der Trübungsmessung im Aktivbecken

Die Tabelle 4.8 enthält die Ergebnisse der photometrischen Trübungsmessung. Als Maß für die Trübung dient die Extinktion. Die Messung gegen Brunnenwasser als Nulllösung liefert stets negative Extinktionswerte.

Tabelle 4.8: Extinktion der Beckenwasserproben bei 300 nm bezogen auf das Brunnenwasser als Nulllösung

Datum	Filterleistung	Dauer der jeweiligen Testphase	Entnahmestelle	Extinktion
31.10.05	80%	Nach 4 Wochen	1. Ecke	-0,020
			2. Ecke	-0,020
			3. Ecke	-0,015
			4. Ecke	-0,016
			Mitte	-0,023
07.11.05	60%	Nach 1 Woche	1. Ecke	-0,023
			2. Ecke	-0,024
			3. Ecke	-0,025
			4. Ecke	-0,025
14.11.05		Nach 2 Wochen	1. Ecke	-0,010
			2. Ecke	-0,013
			3. Ecke	-0,013
			4. Ecke	-0,014
28.11.05		Nach 4 Wochen	1. Ecke	-0,006
			2. Ecke	-0,008
	3. Ecke		-0,008	
	4. Ecke		-0,008	

4.3.5.6 Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung

Im Folgenden werden die mikrobiologischen Parameter tabellarisch dargestellt. Bei den Proben aus dem Nettebad ist in Tabelle 4.9 angegeben, wie lange die Filteranlage mit der jeweiligen reduzierten Umwälzleistung betrieben wird.

Für Legionellen sind zwei Messwerte angegeben. Es handelt sich dabei um Ergebnisse von zwei unterschiedlichen Bestimmungsmethoden. Bei dem Direktausstrich wird die Probe auf einem Nährboden ausplattiert und eine bestimmte Zeit bebrütet. Anschließend werden die Kolonien gezählt. Nach dem Membranverfahren wird das Wasser durch einen Membranfilter geleitet, der anschließend in einer Nährlösung zu bebrüten ist.

Alle Proben aus dem Nettebad erweisen sich bei der Untersuchung auf Legionellen, Pseudomonas und E. coli als keimfrei. Von den übrigen Koloniebildenden Einheiten dürfen im Beckenwasser sowie im Filtrat 100 KBE /ml und im Reinwasser 20 KBE/ml vorhanden sein. Die festgestellten Koloniezahlen liegen unterhalb der Grenzwerte und sind minimal.

Im Schinkelbad werden die mikrobiologischen Anforderungen an die Wasserqualität des Warmbeckens und des Reinwassers ebenfalls erfüllt (s. Tabelle 4.10). Im Filtrat werden dagegen Legionellen nachgewiesen. Eine weitere Probe (vom 13.10.05) im Filtrat bestätigt die Ergebnisse. Es liegt eine Verkeimung mit Legionellen vor.

Tabelle 4.9: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung im Aktivbecken (Nettebad)

Umwälzleistung	Datum	Probe		Legionellen		Pseudomonas aeruginosa	E. coli	KBE	
				Membranverfahren	Direktausstrich			20°C	36°C
				[KBE/100 ml]	[KBE/ml]			[KBE/ml]	
100 %	04.10.05 Nach 4 Wochen Betrieb	Becken	A	0	0	0	0	0	4
			B	0	0	0	0	2	4
		Reinwasser	A	0	0	0	0	0	4
			B	0	0	0	0	0	2
80 %	10.10.05 Nach 1 Woche Betrieb	Becken	A	0	0	0	0	0	2
			B	0	0	0	0	0	4
		Reinwasser	A	0	0	0	0	2	2
			B	0	0	0	0	0	4
	31.10.05 Nach 4 Wochen Betrieb	Becken	A	0	0	0	0	2	0
			B	0	0	0	0	0	0
		Reinwasser	A	0	0	0	0	0	0
			B	0	0	0	0	0	2
60 %	07.11.05 Nach 1 Woche Betrieb	Becken	A	0	0	0	0	0	2
			B	0	0	0	0	2	6
		Reinwasser	A	0	0	0	0	0	2
			B	0	0	0	0	2	4
	14.11.05 Nach 2 Wochen Betrieb	Becken	A	0	0	0	0	0	2
			B	0	0	0	0	0	4
		Reinwasser	A	0	0	0	0	0	8
			B	0	0	0	0	0	6
	28.11.05 Nach 4 Wochen Betrieb	Becken	A	0	0	0	0	2	2
			B	0	0	0	0	2	6
		Reinwasser	A	0	0	0	0	0	12
			B	0	0	0	0	0	8
		Filtrat	A	0	0	0	0	2	14
			B	0	0	0	0	0	16

Tabelle 4.10: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung im Warmbecken (Schinkelbad)

Datum	Probe		Legionellen		Pseudomonas aeruginosa	E. coli	KBE	
			Membranverfahren	Direktausstrich			20°C	36°C
			[KBE/100 ml]	[KBE/ml]			[KBE/ml]	
04.10.05	Becken	A	0	0	0	0	0	2
		B	0	0	0	0	18	76
	Filtrat	A	8	1	0	0	4	40
		B	0	0	0	0	2	78
13.10.05	Filtrat	0 min	0	0				
		5 min	28	2				
		10 min	5	1				
21.10.05	Becken	A	0	0				
		B	0	0				
	Reinwasser	A	0	0				
		B	0	0				

4.3.5.7 Trihalogenmethane und Oxidierbarkeit

Am 23.05.06 wurden die Proben aus dem Aktivbecken für die Überprüfung der THM und der Oxidierbarkeit gezogen und von der Gesellschaft für Umweltanalytik untersucht. Die Messwerte sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Die Filteranlage arbeitete zu dem Zeitpunkt der Probenahme seit einer Woche mit 60 % Umwälzleistung.

Tabelle 4.11: THM und Oxidierbarkeit im Beckenwasser bei 60 Umwälzleistung

			Grenzwert	Messwert
THM		mg/l	0,02	0,0088
Oxidierbarkeit	KMnO ₄ -Verbrauch	mg/l KMnO ₄	2	1,3
	Permanganat-Index	mg/l O ₂	0,5	0,32

4.3.6 Auswertung

4.3.6.1 Energieverbrauch der Captura-Filter im Aktivbecken

Der Stromzähler im Aktivbecken hat im Laufe der Versuche mit 100 %, 80 % und 60 % Umwälzleistung über die Zeit jeweils einen annähernd linearen Energieverbrauch ΔE registriert. Die Leistungsaufnahme der Umwälzpumpen wird im Diagramm 4.11 graphisch bestimmt und entspricht der Geradensteigung. Es handelt sich dabei um die mittlere Leistung \bar{P} :

$$\bar{P} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \text{Gl. 4-3}$$

Mit der mittleren Leistungsaufnahme kann direkt die spezifische Jahresenergie E_a bestimmt werden. Die jährliche Betriebszeit $t_{B,jährl.}$ im Nettebad beträgt 52 Wochen bzw. 364 Tage. 1 kWh kostet die Stadtwerke Osnabrück 10 Cent. Es ergeben sich jährliche Energiekosten aus Tabelle 4.12.

Tabelle 4.12: Energieverbrauch der Filteranlage Captura im Kreislauf „Aktivbecken“

Umwälzleistung		mittl. Leistung $\bar{P} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$	jährl. Energieverbrauch $E_a = t_{B,jährl.} \cdot \bar{P}$	jährl. Umwälzmenge	spez. Energieverbrauch	jährl. Energiekosten
[%]	[m³/h]	[kW]	[MWh/a]	[m³/a]	[Wh/m³]	[T. €/a]
100	72	3,92	34,25	561.600	61,0	3,4
80	58	2,62	22,89	452.400	50,6	2,3
60	43	1,48	12,93	335.400	38,5	1,3
Teillastbetrieb 100 % / 60 %			25,86		50,8	2,6
Teillastbetrieb 80 % / 60 %			18,87		46,7	1,9

Die mittlere Leistungsaufnahme aus den drei Versuchen bleibt über die Zeit konstant. Die Momentanleistung kann sich dagegen ändern. So werden bei der Filterspülung oder Rinnenreinigung die Filtratpumpen ausgeschaltet. Die Leistungsaufnahme sowie der Energieverbrauch gehen dabei auf Null zurück. Wird ein spezifischer Energieverbrauch E_{spez} der Filtrationsanlage ermittelt, so wird die Energie auf die tatsächlich aufbereitete Wassermenge bezogen.

$$E_{spez.} = \frac{E}{V} = \frac{E}{\dot{V} \cdot t} \quad \text{Gl. 4-4}$$

Die Filtrationszeit kann für jeden Kreislauf im Nettebad am Schaltschrank abgerufen werden. Die Betriebszeit im Kreislauf Aktivbecken beträgt 364 Tage pro Jahr, davon

entfallen auf die Filtration 7800 h bzw. 325 Tage. Aus der Filtrationszeit und Umwälzleistung wird dann die jährlich produzierte Filtratmenge errechnet und in Tabelle 4.12 aufgeführt.

Im Realbetrieb arbeiten die Pumpen im Kreislauf Aktivbecken nur 13 h bei Volllast. Um 22 Uhr wird die Filtration unterbrochen und mit der Rinnenreinigung begonnen. Der Reinigungsvorgang dauert ca. 2 h, wobei die Schwallwasserrinne drei Mal mit Reinwasser nachgespült wird. Anschließend setzt der Filterbetrieb mit einer auf 60 % verminderten Umwälzleistung ein. Eine Reduzierung des Volumenstroms bei geringer Beckenbelastung ist nach Merkblatt 65.07A zugelassen, soweit die Hygiene-Hilfsparameter eingehalten werden. Nachfolgend ist eine Beispielrechnung für die Teillast aus 100 % und 60 % Umwälzleistung aufgeführt. Für die täglichen Betriebsstunden mit 100 % Umwälzleistung sind 13 h einzusetzen. Die restliche Filtrationszeit ist dem Nachtbetrieb zuzuordnen, denn die Störungen, bei denen die Filtration unterbrochen werden muss, werden möglichst außerhalb der Öffnungszeit beseitigt.

$$t_{\text{Filtration}}(\text{Aktivbecken}) = 7.800 \frac{h}{a}$$

$$t_{\text{Volllast}} = 13 h \cdot 364 = 4.732 \frac{h}{a}$$

$$t_{\text{Teillast}} = 7.800 \frac{h}{a} - 4.732 \frac{h}{a} = 3.068 \frac{h}{a}$$

$$\begin{aligned} E_{/a}(\text{Realbetrieb, 100\% / 60\%}) &= 4.732 \frac{h}{a} \cdot 72 \frac{m^3}{h} \cdot 61,0 \frac{Wh}{m^3} + 3.068 \frac{h}{a} \cdot 43 \frac{m^3}{h} \cdot 38,5 \frac{Wh}{m^3} \\ &= 25,86 \frac{MWh}{a} \end{aligned}$$

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass trotz der reduzierten Umwälzleistung die einwandfreie Wasserqualität gewährleistet wird. In der Praxis wäre somit ein Teillastbetrieb bei 80 % und 60 % Umwälzleistung denkbar. Es würde dabei ca. 19 MWh/a benötigt.

Der jährliche Energieverbrauch ergibt sich bei Teillastbetrieb zu:

$$E_{\text{spez.}}(\text{Teillastbetrieb, 100\% / 60\%}) = \frac{25,86 \text{ MWh}}{72 \frac{m^3}{h} \cdot 4.732 h + 43 \frac{m^3}{h} \cdot 3.068 h} = 50,8 \frac{Wh}{m^3}$$

Analog würde bei einem theoretischen Teillastbetrieb mit 80 % und 60 % Umwälzleistung sich ein spezifischer Energieverbrauch von 46,7 Wh/m³ einstellen.

Der ermittelte Energieverbrauch für die unterschiedliche Umwälzleistung sowie Teillastbetrieb wird in Diagramm 4.24 graphisch veranschaulicht.

Es zeigt sich, dass bei 80 % Umwälzleistung je Kubikmeter aufbereitetes Wasser 17 % Strom und bei 60 % Umwälzleistung 37 % Strom weniger als bei 100 % Umwälzleistung verbraucht werden. Dabei ergeben sich im Kreislauf Aktivbecken jährlich Einsparungen von 1,1 T. € bzw. 2.1 T. €.

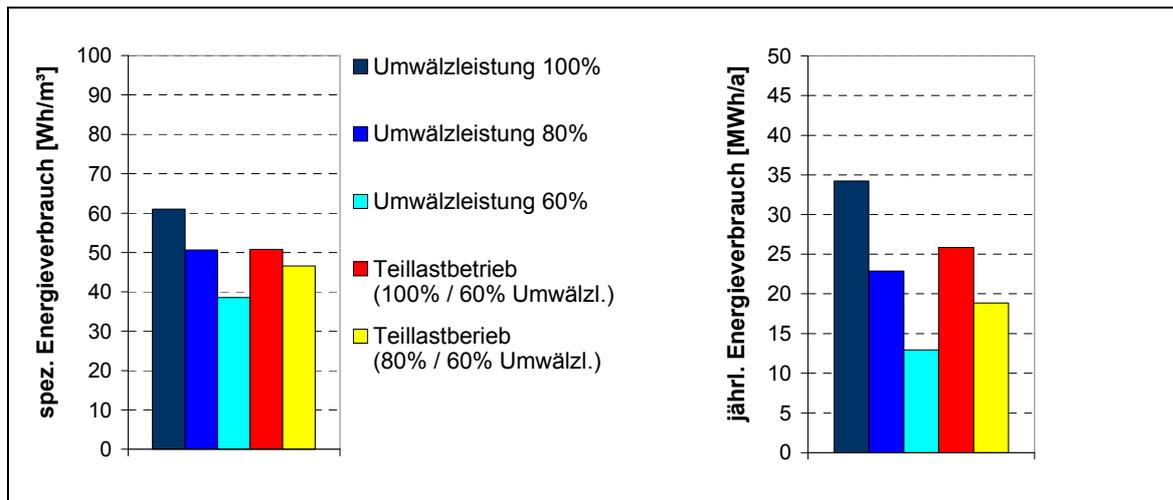


Diagramm 4.24: jährlicher Energieverbrauch der Filteranlage Captura beim Umwälzbetrieb

Der Teillastbetrieb ist gegenüber der Vollast insbesondere dadurch effektiv, dass der Volumenstrom über die Frequenzumrichter geregelt wird. Pro Kubikmeter aufbereitetes Filtrat werden im Realbetrieb somit 17 % weniger Strom verbraucht und somit jährlich 0,8 T. € erspart.

Mit einer Umschaltung des Teillastbetriebs aus 100 % und 60 % Umwälzleistung auf die Kombination aus 80 % und 60 % kann man im Aktivbecken eine jährliche Einsparung von 0,4 T. € erzielen. Pro Kubikmeter Filtrat können dabei 8 % an Strom eingespart werden.

4.3.6.2 Energieverbrauch der Captura-Filter im gesamten Nettebad

Das Nettebad verfügt über 11 Kreisläufe. Welche Volumenströme umgewälzt werden und wie groß die Filtrationszeit ist, zeigt die Tabelle 4.13. Das Hallenbad steht den Badegästen 52 Wochen im Jahr zu Verfügung. Im Freibad wird die Aufbereitungsanlage nur im Sommer und im Herbst für 120 Tage in Betrieb genommen. Die tatsächliche Filtrationszeit kann an dem Schalschrank für jedes Becken abgerufen werden.

Tabelle 4.13: Kreisläufe des Nettebads

Kreislauf	Becken		Filterbetrieb		Umwälzleistung		jährl. Filtrationszeit [h]
			hh:mm	h	[%]	[m³/h]	
1	Schwimmerbecken		06:00 – 22:00	16	100	532	7.782
			24:00 – 06:00	6	60	320	
2	Aktivbecken		09:00 – 22:00	13	100	72	7.800
			24:00 – 09:00	9	60	43	
3	Whirlpools		09:00 – 22:00	13	100	180	7.612
			24:00 – 05:00	5	56	100	
			05:00 – 09:00	4	50	90	
4	Planschbecken Erlebnisbecken		09:00 – 22:00	13	100	447	7.136
			24:00 – 09:00	9	60	268	
5	Sole		09:00 – 22:00	13	100	45	6.855
			Fr., Sa. bis 23:00	14			
			24:00 – 09:00	9	60	27	
6	Whirlpool (Sauna)		09:00 – 22:00 (Fr., Sa. bis 23:00) 24:00 – 09:00	13 (14) 9	100	50	7.963
7	Außenbecken		09:00 – 22:00	13	100	122	7.499
			24:00 – 09:00	9	60	73	
8	Landebecken		09:00 – 22:00	13	100	180	7.600
			24:00 – 09:00	9	67	120	
9	Freibad 120 Be- triebstage /a	Schwimmerbecken	06:00 – 21:00	15	100	210	2.750
			21:00 – 22:00 24:00 – 06:00	7	60	126	
10	Freibad 120 Be- triebstage /a	Nichtschwimmerbecken	06:00 – 21:00	15	100	300	2.750
			21:00 – 22:00 24:00 – 06:00	7	60	180	
11	Saunatauchbecken		05:00 – 22:00 (Fr., Sa. bis 23:00) 24:00 – 09:00	17 (18)	33	6	6.292

Mit dem im Kapitel 4.3.6.1 ermittelten spezifischen Energiebedarf für die Aufbereitung 1 m³ Filtrat können die Energiekosten für die einzelnen Kreisläufe errechnet werden und zu Gesamtkosten aufsummiert.

In der Praxis werden alle Kreisläufe im Nettebad mit Teillast betrieben. Die Umwälzleistung wird nachts auf 60 % reduziert, im Kreislauf 3 sogar bis auf 50 %. Die einzelnen Beckenrinnen werden täglich von der Reinigungskolonne sauber gemacht und anschließend mit Reinwasser nachgespült. Die Reinigungsarbeiten beginnen um 22 Uhr an und dauern immer unterschiedlich, im Durchschnitt jedoch 2 Stunden.

Im Folgenden wird exemplarisch der Energieverbrauch im Schwimmerbecken ausgerechnet. Die Betriebszeit mit der verminderten Umwälzleistung ergibt sich hierbei aus der Differenz zwischen gesamten Filtrationszeit und dem Volllastbetrieb. Es ist davon auszugehen, dass sonstige Unterbrechungen im Kreislauf, z. B. durch die Wartungsarbeiten, möglichst außerhalb der Öffnungszeit ausgelöst werden.

Beispiel: Schwimmerbecken

$$t_{\text{Filtration}} (\text{Teillastbetrieb, 100 \% Umwälzleistung}) = 364 \cdot 16 \text{ h} = 5.824 \frac{\text{h}}{\text{a}}$$

$$t_{\text{Filtration}} (\text{Teillastbetrieb, 60 \% Umwälzleistung}) = 7.782 \text{ h} - 5.824 \text{ h} = 1.958 \frac{\text{h}}{\text{a}}$$

$$E_a (100 / 60 \% \dot{V}) = 61,0 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \cdot 532 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 5.824 \frac{\text{h}}{\text{a}} + 38,5 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \cdot 320 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1.958 \frac{\text{h}}{\text{a}} \approx 213,12 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$$

$$E_a (80 / 60 \% \dot{V}) = 50,6 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \cdot 0,8 \cdot 532 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 5.824 \frac{\text{h}}{\text{a}} + 38,5 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \cdot 320 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1.958 \frac{\text{h}}{\text{a}} \approx 149,54 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$$

In der nachfolgenden Tabelle 4.13 werden die errechneten Energiekosten für das gesamte Nettebad zusammengefasst. Diese setzen sich zusammen aus dem Energieverbrauch in den Kreisläufen 1 bis 11. Zu erwähnen ist hierbei, dass für den Kreislauf 6 von einer konstanten Umwälzleistung von 100 % ausgegangen wurde. Es handelt sich um den Whirlpool in der Sauna, wo bereits die Praxiserfahrung gezeigt hat, dass eine verminderte Umwälzleistung stets schlechte Wasserwerte hervorruft. Bei allen anderen Kreisläufen ist der Rechengang mit Reduzierung auf 80 % bzw. 60 % durchgeführt worden.

Tabelle 4.14: Energieverbrauch und Energiekosten der Captura-Filter im Nettebad

	Umwälzleistung				
	100 %	80 %	60 %	Teillastbetrieb	
				100/60 %	80/60 %
jährl. Energieverbrauch [MWh/a]	834	562	326	672	488
jährl. Energiekosten [T. €/a]	83	56	32	67	49

Die jährlichen Einsparungen im gesamten Nettebad würden bei Reduzierung der Umwälzleistung von 100 % auf 80 % Umwälzleistung 27 T. € und bei 60 % Umwälzleistung 51 T € betragen. Eine Umschaltung von Teillastbetrieb mit „100 % / 60%“ Umwälzleistung zur Kombination „80 % / 60%“ kann die jährlichen Energiekosten im Nettebad um 18 T. € reduzieren.

4.3.6.3 Energieverbrauch der Druckfilteranlage im Warmbecken

Die gesamte maximale Leistungsaufnahme der Umwälzpumpen im Kreislauf Warmbecken beträgt 7,5 kW. Sind beide Pumpen, die Umwälz- und die Rückförpumpen, im Einsatz, so werden 64 m³/h umgewälzt. Der spezifische Energieverbrauch der Druckfilteranlage ergibt sich zu:

$$E = \frac{7,5 \text{ kWh}}{64 \text{ m}^3} = 117,19 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3}$$

Der jährliche Energieverbrauch des Drucksandfilters wird über die Filtrationszeit berechnet. Die Filtration wird drei Mal in der Woche für die Filterspülung unterbrochen. Der Spülgang dauert ca. 35 Minuten an.

Einmal wöchentlich wird die Schwallwasserrinne gereinigt. Hierfür wird die Rückförpumpen für ca. 2,5 h ausgeschaltet, damit die Rinne nicht überläuft. Die Umwälzpumpe und der Druckfilter können währenddessen im Betrieb bleiben. Die Leistungsaufnahme der Umwälzpumpe beträgt 4,5 kW, bezogen auf ein Jahr ergeben sich folgende Werte:

$$t_{\text{Filterrückspülung}} = 52 \cdot 3 \cdot 35 \text{ min} = 91 \frac{\text{h}}{\text{a}}$$

$$t_{\text{Rinnenreinigung}} = 52 \cdot 2,5 \text{ h} = 130 \frac{\text{h}}{\text{a}}$$

$$E_a = 7,5 \text{ kW} \cdot \frac{(52 \cdot 7 \cdot 24 \text{ h} - 91 \text{ h} - 130 \text{ h})}{\text{a}} + 4,5 \text{ kW} \cdot \frac{130 \text{ h}}{\text{a}} = 64.448 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$K_e \approx 6.445 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

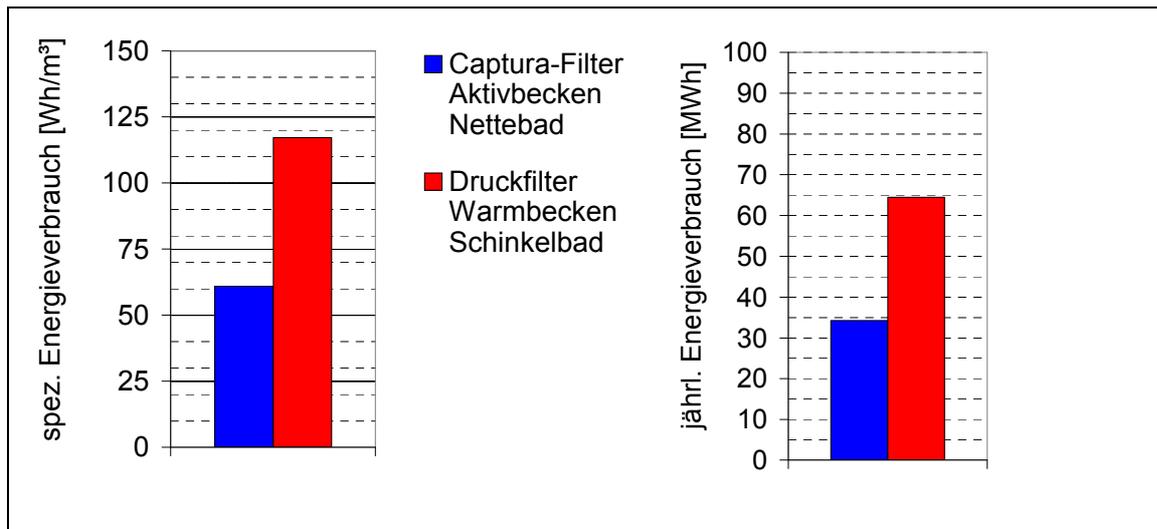


Diagramm 4.25: Energieverbrauch des Druckfilters im Vergleich zu Filteranlage Captura

Vergleicht man die Energieaufnahme im Kreislauf Aktivbecken bei 100 % Umwälzleistung und im Kreislauf Warmbecken, so verbraucht der Druckfilter fast doppelt so viel Strom wie die Captura-Anlage. Die spezifischen Energiekosten des Druckfilters liegen um 48 % höher als bei den Captura-Filtern. Hierbei ist für den Druckfilter eine zu hohe Stromaufnahme vorausgesetzt worden, da es keine Alternative dazu gab, als die vom Hersteller angegebene Pumpenleistung zu verwenden.

4.3.6.4 Wasserverbrauch im Aktivbecken

Im Folgenden wird der Wasserverbrauch ausgewertet, der sich durch die Füllwassernachspeisung ergibt. Im Nettebad und im Schinkelbad sieht die allgemeine Füllwasserbilanz gleich aus (s. Abb. 4.20).

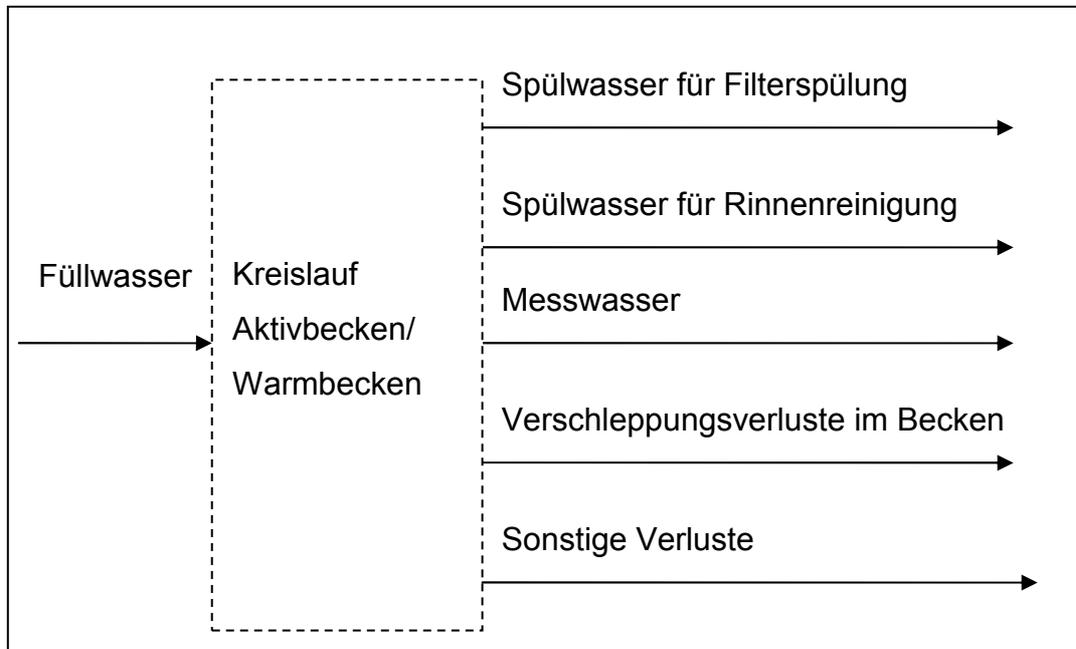


Abb. 4.20: Füllwasserbilanz

Ein großer Teil des Füllwassers wird der Ersatz des Filterspülwassers sein, das man dem Spülwasserspeicher entnommen hat. Weiterhin muss die Schwallwasserrinne mindestens einmal in der Woche gereinigt werden. Anschließend erfolgt die Ausspülung verbleibender Reinigungsmittel. Hierzu wird die Rinne mit Beckenwasser überströmt und das anfallende Schmutzwasser entsorgt. Die entstehenden Verluste im Becken werden durch das Füllwasser kompensiert. In die Füllwasserbilanz geht weiterhin das Messwasser für die Regelanlage ein, das dem Kreislauf nicht wieder zugeführt wird. Außerdem kommt es zu Verdunstung und Verschleppung des Wassers durch die Badegäste im Becken. Sonstige Verluste entstehen z. B. bei der Beckenentleerung oder durch Störungen in der Aufbereitungsanlage.

Der Füllwasserzusatz im Aktivbecken ist anhand des Diagramm 4.12 zu bestimmen und beträgt

bei 60 % Umwälzleistung	0,31 m ³ /h
bei 80 % Umwälzleistung	0,24 m ³ /h
bei 100 % Umwälzleistung	0,24 m ³ /h

Der Füllwasserstrom entspricht der Geradensteigung aus Diagramm 4.12 und ist als ein mittlerer Füllwasserverbrauch zu verstehen.

Es zeigt sich ein geringer Anstieg des mittleren Wasserverbrauchs mit Reduzierung der Umwälzleistung auf 60 %, obwohl es keinen direkten Zusammenhang zwischen den beiden Größen gibt. Die Versuchsbeobachtungen ergeben, dass der Spülvorgang stets nach der Zeitvorgabe ausgelöst wurde. Die Zunahme an Füllwassernachspeisung ist bei 60 % Umwälzleistung durch regelungstechnische Probleme verursacht worden.

Der Rohwasserzufluss zu den Filtern erfolgt geodätisch und wird über die Armaturstellung geregelt. Sie passt sich immer der Umwälzleistung an. Wenn die Pumpe 40 % weniger fördert, wird auch der Rohwasserfluss um 40 % geringer. Die Sprungantwort bzw. die Schnelligkeit des Stellungsreglers hat sich während der Versuche nach 72 m³/h gerichtet. Die auf 60 % reduzierte Umwälzleistung ist von der Pumpe geregelt worden. Bei einer kleineren Durchflussmenge hat sich die Totzeit der Pumpenregelung verkürzt. Die Totzeit des Stellungsreglers ist jedoch gleich geblieben. Diese Unstimmigkeit hat sich während der Rinnenreinigung bemerkbar gemacht. Zur Reinigung der Schwallwasserrinne werden die Filtratpumpen ausgeschaltet und der Abfluss zum Schwallwasserbehälter aus der Überlaufrinne verriegelt. Die Überlaufrinne wird vom Umwälzbetrieb auf Schmutzwasser-Kanalisation umgeschaltet und von Hand gereinigt. Danach werden die Filtratpumpe betätigt und die Rinne nachgespült. Zum Schluss wird die Filteranlage wieder in den Umwälzbetrieb genommen. Dadurch, dass der Stellungsregler während der Versuche mit einer reduzierten Umwälzleistung seinen Sollwert nicht so schnell wie die Pumpe erreicht hat, kam es zu kurzzeitigen Störungen. Beim Anfahren nach der Rinnenreinigung schaltete die Filtrationsanlage mehrfach ab. Die Verbindung der Rinne zur Kanalisation ist währenddessen offen geblieben. Das zugeführte Wasser ist dann dem Kreislauf verloren gegangen. Diese Störungen sind öfters bei 60 % Umwälzleistung aufgetreten und haben dementsprechend einen höheren Füllwasserverbrauch verursacht. Die

Trägheit des Stellungsreglers ist erst nach den Versuchen auf die Sprungantwort der Pumpenregelung angepasst worden.

Der Wasserverbrauch bei 100 % Umwälzleistung stimmt mit dem bei 80 % Umwälzleistung überein und wird für die weiteren Berechnungen übernommen:

$$V_a(\text{Füllwasser}) = 364 \cdot 24 \frac{h}{a} \cdot 0,24 \frac{m^3}{h} = 2.097 \frac{m^3}{a}$$

Die Spülwassermenge für beide Filter ist im Steuerungsprogramm zu 9,8 m³ hinterlegt. Im Kreislauf Aktivbecken entsteht somit jährlich ein Wasserverbrauch für die Filterspülung von

$$V_a(\text{Filterspülung}) = 52 \cdot 2 \cdot 9,8 \frac{m^3}{a} = 1.019 \frac{m^3}{a}$$

Die Rinnenreinigung findet täglich statt und verbraucht 1,5 m³, was einer jährlichen Summe von 546 m³ entspricht.

Die Menge des Beckenwassers, welches die Messzelle der Regelungsanlage mit 33 l/h durchfließt, beläuft sich im Jahr auf:

$$V_a(\text{Messwasser}) = 364 \cdot 24 \frac{h}{a} \cdot 0,033 \frac{m^3}{h} = 288 \frac{m^3}{a}$$

Die verbleibende Wassermenge verteilt sich auf die Verschleppung, Verdunstung und sonstige Verluste.

$$V_a(\text{Verschleppung, Verdunstung, sonst. Verluste}) = (2.097 - 1.019 - 546 - 288) \frac{m^3}{a} = 244 \frac{m^3}{a}$$

$$V_a(\text{Verschleppung, Verdunstung, sonst. Verluste}) = \frac{244 m^3}{364 d} = 0,7 \frac{m^3}{d}$$

1 m³ Füllwasser kostet die Stadtwerke 0,50 €. Viel teurer ist die Entsorgung des anfallenden Schmutzwassers. Hierzu gehören das Schlammwasser aus der Filterspülung und der Rinnenreinigung sowie das Messwasser. Im Nettebad wird das Schlammwasser mittels Ultrafiltration aufbereitet. Es existieren allerdings noch keine Anhaltswerte für die Betriebskosten der eingesetzten Aufbereitungsanlage. Wird das Schlammwasser in die Kanalisation entsorgt, so kostet es die Stadtwerke Osnabrück 1,74 €/m³. Dieser Preis wird den Abwasserkosten zugrunde gelegt. Im Aktivbecken ergeben sich jährlich dabei Wasserkosten aus Tabelle 4.15.

Tabelle 4.15: Wasserkosten im Kreislauf „Aktivbecken“ (Nettebad)

	Wasserverbrauch	Füllwasserkosten	Abwasserkosten
Filterspülung	1.040m³/a	510 €/a	1.773 €/a
Rinnenreinigung	546 m³/a	273 €/a	950 €/a
Messwasser	288 m³/a	144 €/a	501 €/a
Verschleppung, Verdunstung, sonstige Verluste	223 m³/a	112 €/a	-
Gesamt	≈ 2 T. m³/a	≈ 1 T. €/a	≈ 3 T. €/a

4.3.6.5 Wasserverbrauch im gesamten Nettebad

Am Beispiel des Aktivbeckens wird deutlich, dass die größte Wassermenge zur Rinnenreinigung und Filterspülung verbraucht wird. Dieses kann für jeden Kreislauf im Aktivbecken genau ermittelt werden, da die Spülung jeweils einprogrammiert ist.

Tabelle 4.16: Kreisläufe des Nettebads

Becken	Filteranzahl	Filterfläche [m²]	Spülwasservolumen		
			Filter		Rinne [m³/d]
			[m³/m²]	[m³ je Spülgang]	
Schwimmerbecken	9	2	3,25	54	6,0
Aktivbecken	1	2	3,25	6	1,5
	1	1	3,3	3,3	
Whirlpools	3	2	3,25	18	0,9
Planschbecken + Erlebnisbecken	7	2	3,25	42	0,5
	1	1	3,3	3,3	
Sole	1	2	3,25	6	1,5
Whirlpool (Sauna)	1	2	3,25	6	0,9
Außenbecken	2	2	3,25	12	2,0
Landebecken	3	2	3,25	18	-
Saunatauchbecken	1	0,6	3,25	1,2	-
Hallenbad, gesamt (Betriebszeit 364 Tage bzw. 52 Wochen)	30	56,6		169,8	19,3
Freibad Schwimmerbecken	3	2	3,25	18	2,5
	1	1		3,3	
Freibad Schwimmerbecken	6	2	3,25	36	2,5
Freibad, gesamt (Betriebszeit 120 Tage bzw. 17 Wochen)	10	19		57,3	5

Mit den Werten aus Tabelle 4.16 ergibt sich folgender jährlicher Spülwasserbedarf:

$$V (\text{Filterspülung, } 2 \times \text{wöchentlich}) = (52 \cdot 2 \cdot 169,8 + 17 \cdot 2 \cdot 57,3) \frac{m^3}{a} = 19.607 \frac{m^3}{a}$$

$$V (\text{Rinnenreinigung, täglich}) = (364 \cdot 19,3 + 120 \cdot 5,0) \frac{m^3}{a} = 7.625 \frac{m^3}{a}$$

Zu beachten ist, dass in jedem Becken eine Regelungsanlage für freies Chlor angebracht ist. Der gesamte Anteil an Messwasser beträgt ca. 4,2 T. m³. Die Wasserkosten im Nettebad sind in Tabelle 4.17 aufgeführt.

Tabelle 4.17: Wasserkosten im gesamten Nettebad

	Wasserverbrauch	Füllwasserkosten	Abwasserkosten
Filterspülung	19,6 T. m ³ /a	9,8 T. €/a	34,1 T. €/a
Rinnenreinigung	7,6 T. m ³ /a	3,8 T. €/a	13,2 T. €/a
Messwasser	4,2 T. m ³ /a	2,1 T. €/a	7,3 T. €/a
gesamt	≈ 31,4 T. m ³ /a	≈ 16 T. €/a	≈ 55 T. €/a

Die jährlichen Füllwasserkosten betragen im Nettebad mindestens 16 T. €, da bei der Berechnung die Verschleppung oder sonstige Verluste im Becken nicht berücksichtigt sind. Sie setzen sich hauptsächlich aus dem Spülwasserverbrauch der Filter zusammen. Die Abwasserentsorgung in der Kanalisation würde ca. 55 T. €/a kosten.

4.3.6.6 Wasserverbrauch im Warmbecken

Im Diagramm 4.13 ist zu erkennen, dass die tägliche Füllwassernachspeisung sehr schwankend ist. Deswegen sind die Umrechnungen auf einen jährlichen Wasserverbrauch nur als Anhaltswerte zu verstehen.

Der Druckfilter im Schinkelbad wird drei Mal wöchentlich gespült. Die Spülzeit ist in der Betriebsanleitung mit 16 - 55 Minuten angegeben. In der Praxis richtet sich der Spülvorgang nach dem Verschmutzungsgrad im Filtermaterial und dauert gewöhnlich 30 bis 40 Minuten. Der Spülvorgang setzt sich aus einzelnen Phasen zusammen. Zum Wasserverbrauch kommt es dabei nur bei der Wasserspülung (6 - 20 Minuten) und beim Einfiltrieren (2 - 10 Minuten). Das Einfiltrieren wird im Anschluss an die Spülung durchgeführt, solange bis das ablaufende Wasser klar wird. Das Erstfiltrat wird in die Kanalisation abgeführt.

In den betrachteten 28 Tagen sind 12 Filterspülungen durchgeführt worden. Die Spüldauer wird für weitere Berechnungen abgeschätzt:

Wasserspülung ⇒ 15 Minuten
 Einfiltrieren ⇒ 5 Minuten

Der Spülwasserdurchsatz beträgt 50 m³/h. Für die Phase des Einfiltrierens wird die gemessene Umwälzleistung von 64 m³/h eingesetzt.

$$V(\text{Filterrücksp\u00fclung}) = 15 \text{ min} \cdot 50 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} + 5 \text{ min} \cdot 64 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 18 \text{ m}^3$$

Die ermittelten Werte werden nun auf ein Jahr umgerechnet. Um sp\u00e4ter das Warmbecken mit dem Aktivbecken vergleichen zu k\u00f6nnen, werden ebenfalls 52 Betriebswochen zugrunde gelegt. Das anfallende Messwasser in der Regelungsanlage f\u00fcr die Hygiene-Hilfsparameter kann wie im Nettebad zu 288 m\u00b3/a angenommen werden. Laut Kapitel 4.3.5.2 betr\u00e4gt die insgesamt zugesetzte F\u00fcllwassermenge 378 m\u00b3

$$V_a(\text{F\u00fcllwasser}) = \frac{378 \text{ m}^3}{28} \cdot \frac{52 \cdot 7}{a} = 4.914 \frac{\text{m}^3}{a}$$

$$V_a(\text{Sp\u00fcllwasser, Filter}) = \frac{52 \cdot 3}{a} \cdot 18 \text{ m}^3 \cdot = 2.808 \frac{\text{m}^3}{a}$$

$$V_a(\text{Messwasser}) = 288 \frac{\text{m}^3}{a}$$

$$\begin{aligned} V_a(\text{Rinnensp\u00fclung, Verschleppung, Verdunstung, sonstige Verluste}) = \\ = V_a(\text{F\u00fcllwasser}) - V_a(\text{Sp\u00fcllwasser}) - V_a(\text{Messwasser}) = 1.818 \frac{\text{m}^3}{a} \end{aligned}$$

Tabelle 4.18: Wasserkosten im Kreislauf „Warmbecken“ (Schinkelbad)

	Wasserverbrauch	F\u00fcllwasserkosten	Abwasserkosten
Filtersp\u00fclung	2.808m\u00b3	1.404 \u20ac	4.886 \u20ac
Rinnenreinigung, Verschleppung, Verdunstung, sonstige Verluste	1818 m\u00b3	909 \u20ac	3163 \u20ac
Messwasser	288 m\u00b3	144 \u20ac	501 \u20ac
Gesamt	\u2248 5 T. m\u00b3	\u2248 2,5 T. \u20ac	

Insgesamt werden im Warmbecken j\u00e4hrlich 3 T. m\u00b3 F\u00fcllwasser mehr als im Aktivbecken (Nettebad) verbraucht. Die j\u00e4hrlichen F\u00fcllwasserkosten sind somit im Warmbad um ca. 1,5 T. \u20ac h\u00f6her. Der gr\u00f6\u00dfte Anteil des entstehenden Wasserverbrauchs ist dabei der Filtersp\u00fclung zuzuordnen (s. Diagramm 4.26). Bei dem Druckfilter kommen auf die Filtersp\u00fclung ca. 63 % zu. Im Aktivbecken ben\u00f6tigt die Sp\u00fclung der Captura-Filter etwa die H\u00e4lfte des gesamten F\u00fcllwassers.

Der spezifische Wasserverbrauch f\u00fcr die Sp\u00fclung eines Captura-Filters betr\u00e4gt 3,25 m\u00b3/m\u00b2. F\u00fcr die Sp\u00fclung des Drucksandfilter im Schinkelbad werden ca. 9 m\u00b3 Sp\u00fclwasser ben\u00f6tigt, wenn der Sp\u00fclvorgang 35 min andauert (s. Diagramm 4.27). Die Sp\u00fclung kann auch l\u00e4nger durchgef\u00fchrt werden, je nach dem wie stark die Verschmutzung ist.

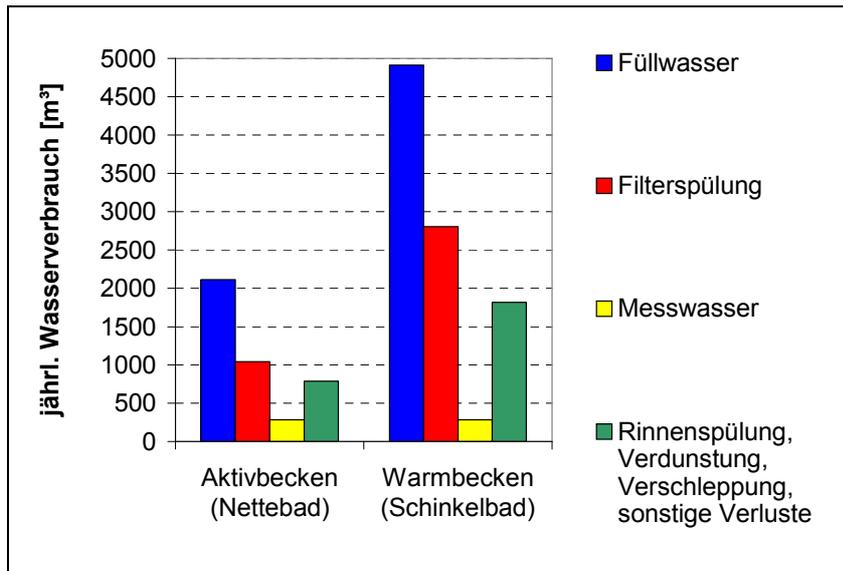


Diagramm 4.26: Wasserverbrauch

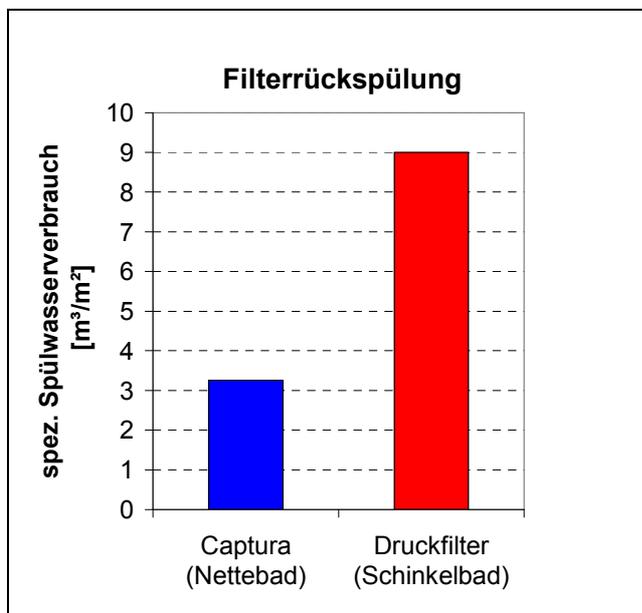


Diagramm 4.27: spez. Wasserverbrauch für die Filterspülung

Die Filterfläche des Druckfilters beträgt 2,01 m². Nach einer Auslegung gemäß DIN 19643 soll die Fläche des Druckfilters 3,48 m² betragen, damit eine Umwälzleistung von 104,4 m³/h realisiert werden kann. Dementsprechend erhöhen sich der Spülwasserverbrauch und die Schlammwassermenge um Faktor 1,7. Somit würden bei einer sachgerechten Badbetrieung Mehrkosten in Höhe von ca. 4,7 T. €/a entstehen.

Höherer Spülwasserverbrauch des Druckfilters hat größere Schlammwassermengen zur Folge. Während im Schinkelbad das anfallende Schlammwasser in die Kanalisation entsorgt wird, gibt es im Nettebad eine Abwasseraufbereitungsanlage. Der spezifische Preis für die Aufbereitung ist noch unbekannt. Geht man von der Abführung in den Abwasserkanal aus, so entstehen im Kreislauf „Warmbecken“ um 3 T. € höhere Schlammwasserkosten, verursacht durch die Filterspülung.

4.3.6.7 Hygiene-Hilfsparameter im Aktivbecken

In diesem Kapitel wird der Verlauf einzelner Hygiene-Hilfsparameter im Aktivbecken ausgewertet, der sich bei einer Umwälzleistung von 100 %, 80 % und 60 % entwickelt hat. Die Ergebnisse sind dem Kapitel 4.3.5.3 zu entnehmen.

Wie das Diagramm 4.14 zeigt, beträgt der Gehalt an freiem Chlor im Durchschnitt 0,45 mg/l. Zu einer Überchlorung kommt es nur selten, wobei der Grenzwert nur geringfügig und kurzzeitig überschritten wird. Die Unterschreitungen an freiem Chlor sind nur bei einer reduzierten Umwälzleistung und dann fast ausschließlich bei 60 % aufgetreten. In den ersten 50 Stunden der Testphase mit 60 % Umwälzleistung nimmt das freie Chlor schlagartig niedrige Werten von 0,08 mg/l und 0,2 mg/l an, die sich dann gleich darauf stabilisieren. Die Ausreißer sind auf regelungstechnische Störungen in der Filtrationsanlage zurückzuführen und hängen in diesem Fall nicht direkt mit der Umwälzleistung zusammen. Hier sind ähnliche Probleme, wie bereits in Kapitel 4.3.6.4 beschrieben, entstanden. Die Mess- und Regelgeräte besitzen eine automatische Adaption. Sie wird im Zuge der Inbetriebnahme ausgelöst. Das Gerät fährt die Regelgröße nach unten und wieder nach oben, bis sich der Ist-Wert stabilisiert, und übernimmt die Streckentzeit in sein Regelprogramm. Falls sich die Umwälzleistung ändert, passen die gespeicherten Regelparameter des Messgerätes nicht mehr zu dem Ist-Zustand. Bei einer Reduzierung der Umwälzleistung auf 80 % und 60 % müsste eigentlich eine neue Adaption erfolgen, was im vorliegenden Fall erst später gemacht wurde. In diesem Zusammenhang sind auch die Schwankungen der Redox-Spannung entstanden (s. die im Diagramm 4.20).

Das gebundene Chlor wird im Diagramm 4.16 dargestellt. Die aufgenommenen Werte bleiben stets unterhalb der Grenze von 0,2 mg/l. Die Reduzierung der Umwälzleistung auf 80 % führt im Durchschnitt nur einen sehr geringen Anstieg des gebundenen Chlors von ca. 0,02 mg/l herbei. Betrachtet man die Mittelwerte an gebundenem Chlor bei 80 % und 60 % Umwälzleistung, so ist überhaupt kein Unterschied festzustellen. Um genau vergleichen zu können, bedarf es einer mehrfachen Messung am Tag. Die vorliegenden Werte sind nur einmal pro Tag bestimmt worden.

Der pH-Wert wird stets eingehalten (s. Diagramm 4.18). Er bewegt sich in einem schmalen Bereich von 6,8 – 7,4 und ist stark gebündelt.

Abgesehen von Schwankungen, die durch regelungstechnische Störungen verursacht worden sind, werden alle Hygiene-Hilfsparameter gemäß DIN 19643 auch bei niedriger Umwälzleistung eingehalten.

4.3.6.8 Hygiene-Hilfsparameter im Warmbecken

Während die Hygiene-Hilfsparameter im Aktivbecken sehr gebündelt vorliegen und nur geringfügig um den Sollwert schwanken, sind die Messwerte des Warmbeckens sehr zerstreut (s. Diagramm 4.14 - Diagramm 4.19). Der pH-Wert schwankt zwischen 6,57 und 7,82. Öfters kommt es zu einer Überchlorung. Das gebundene Chlor lässt sich ebenfalls nicht unter dem Grenzwert halten. 45 % der Messwerte liegen im nicht zulässigen Bereich. Die hohen Werte an gebundenem Chlor weisen entweder auf eine hohe Beckenbelastung hin oder auf ungenügende Adsorption im Filter. Zu der Überlastung des Beckenwassers kommt es hierbei nicht durch die hohe Besucherzahl, sondern durch eine unzureichende Umwälzleistung. Die Umwälzleistung im Warmbecken beträgt 60 % des nach DIN 19643 geforderten Wertes.

Die Redox-Spannung nimmt im Durchschnitt höhere Werte als im Nettebad an, bis zu ca. 790 mV. Am Ende der Untersuchungszeit fällt diese abrupt ab. Zu der gleichen Zeit nimmt auch das freie Chlor ab. Die Schwankungen des freien Chlors ergeben sich stets durch eine gestörte Zugabe an Desinfektionsmitteln.

Hohe Redox-Spannung in Verbindung mit einem geringen Chlorgehalt gilt als sicheres Zeichen für ein gut aufbereitetes, reines Wasser. Dieser Zustand lässt sich im Warmbecken durchaus erkennen, bleibt jedoch nicht durchgehend erfüllt.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Hygiene-Hilfsparameter im Warmbecken im Unterschied zum Aktivbecken weniger stabil sind. Die Messwertbande ist breiter und erstreckt sich z. B. beim pH-Wert und beim freien Chlor bis zu den Grenzwerten hin. Die Konzentration an gebundenem Chlor wird im Aktivbecken auch bei 60 % Umwälzleistung eingehalten, im Warmbecken dagegen oft überschritten.

4.3.6.9 Mikrobiologische Parameter

Im Nettebad haben sich die Proben von Reinwasser, Beckenwasser und Filtrat bei der Untersuchung auf Krankheitserreger wie Legionella, Pseudomonas und E. coli als keimfrei erwiesen. Somit werden die mikrobiologischen Anforderungen an die Wasserqualität im Laufe der Untersuchungen im Aktivbecken stets erfüllt. Die niedri-

ge Koloniezahl bei der Untersuchung auf KBE bei 20 und 36 °C bestätigt die sachgerechte Betriebsweise der Filtrationsanlage sowie der Aufbereitungsanlage insgesamt. Im Warmbecken des Schinkelbads liegt dagegen eine deutlich höhere mikrobiologische Belastung vor. Wie das Diagramm 4.28 zeigt, werden in den Proben aus dem Warmbecken bei einer Bebrütungstemperatur von 36°C das 6-fache und bei 20°C das Doppelte an koloniebildenden Einheiten gezählt als im Wasser des Aktivbeckens. Der Grenzwert von 100 KBE/100 ml wird dennoch eingehalten.

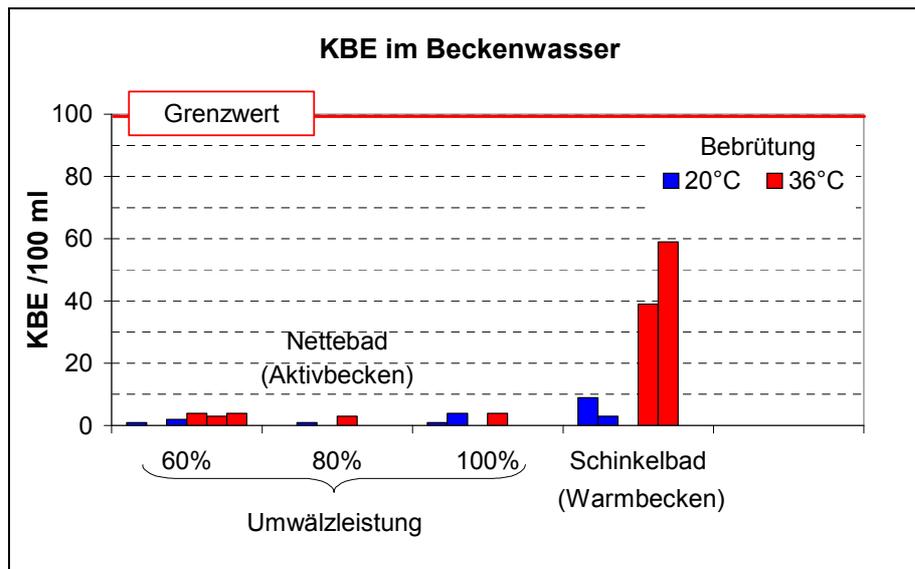


Diagramm 4.28: KBE im Wasser des Aktivbeckens und des Warmbeckens

Im Filtrat des Drucksandfilters sind Legionellen festzustellen. Die Kontamination ist entweder im Filter bzw. an der Zapfstelle, oder auch in beiden Fällen gegeben. In den Rein- und Beckenwasserproben werden jedoch keine Legionellen gefunden. Die Untersuchungen weisen eher auf eine Kontamination an der Probenahmestelle hin.

Im Aktivbecken sind die Zapfstellen direkt an der Hauptrohrleitung angebracht (s. Abb. 4.12). Im Schinkelbad führt dagegen eine Rohrleitung zu der Zapfstelle hin. Wie Abb. 4.19 zeigt, sind in der Abzweigung für die Filtratentnahmestelle außerdem mehrere Umlenkungen und Einbauten vorhanden. Es handelt sich um eine Totzone, die vom Wasser nur bei der Probenahme durchflossen wird. Es ist möglich, dass sich dort Ablagerungen und Beläge gebildet haben. Solche Bedingungen sind ideal für das Wachstum der Legionellen.

Eine Wiederholungsmessung bestätigt, dass es sich eher um eine Verkeimung der Leitung für die Probenahme im Filtrat handelt. Gleich nachdem der Zapfhahn geöffnet wird, wird das zuerst kommende Wasser in der Probeflasche aufgefangen. Diese

erste Stichprobe ist frei von Legionellen. Nach weiteren 5 und 10 Minuten Filtratablauf ist eine Kontamination festzustellen. Wahrscheinlich werden die Legionellen erst durch den Abrieb an den Biofilmen freigesetzt und mit der Strömung mitgerissen. Eine andere Möglichkeit ist es, dass die Verkeimungszone weit von der Zapfstelle entfernt ist. Bis die kontaminierte Stichprobe in die Probeflasche gelangt, vergeht eine gewisse Zeit.

4.3.6.10 Trübung

Bei Reduzierung der Umwälzmenge wird die Trübung des Beckenwassers kontrolliert. Die Trübung korreliert mit der Extinktion. Die mit dem Photometer gemessene Extinktion ist kleiner als die von der Nulllösung und ist deswegen negativ. Als Nulllösung wird Brunnenwasser genommen. Das bedeutet, das Beckenwasser ist weniger mit Trübstoffen belastet als das Brunnenwasser. Die Trübstoffe werden mit der Flockungsfiltration beseitigt.

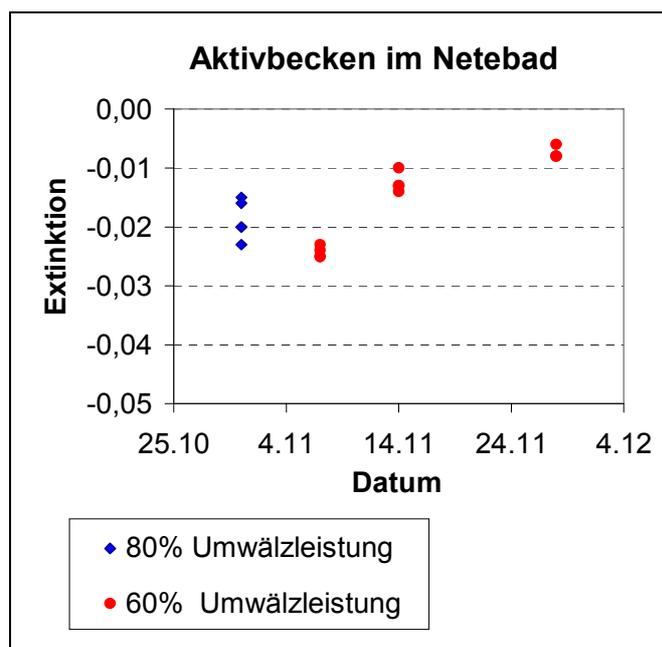


Diagramm 4.29: Trübung im Aktivbecken

Das Diagramm 4.29 zeigt bei 60 % etwas höhere Extinktion als bei 80 % Umwälzleistung. Es ist jedoch nicht sicher, ob im Beckenwasser ebenfalls eine erhöhte Trübung vorliegt. Die Schwankungen der Messwerte können durch Ungenauigkeiten des Messverfahrens verursacht werden.

Die Reproduzierbarkeit des Photometers liegt bei 0,001 und ist auf die Extinktion von 1 bezogen. Die Messungenauigkeit von $\pm 0,001$ gilt

nur für das Photometer. Zusätzliche Abweichungen können schon durch kleinste Veränderungen an der Küvette entstehen, z. B durch Verunreinigungen. Die Extinktionswerte liegen zwischen -0,025 und -0,008. Der Messbereich ist so niedrig angesetzt, dass es fraglich ist, ob die Trübung mit der kleineren Umwälzleistung tatsächlich zugenommen hat. Außerdem ist bei Reduzierung von 80 % auf 60 % Umwälzleistung zunächst eine kleinere Trübung festzustellen und ist widersprüchlich.

Das wichtigste Ergebnis ist, dass die Trübung immer kleiner als im Brunnenwasser geblieben ist. Eine Reduzierung der Umwälzleistung auf 60 % bringt keine nennenswerten Erhöhungen der Trübung im Aktivbecken mit sich, zumindest können die Trübstoffe mit dem Photometer in diesen geringen Konzentrationen nicht genau erfasst werden. Heutzutage werden bei einer geringfügigen Feststoffkonzentration die Nephelometer eingesetzt, die nach dem Prinzip der Streulichtmessung arbeiten.

4.3.6.11 Trihalogenmethane und Oxidierbarkeit

Die Trihalogenmethane wurden im Aktivbecken am 23.05.06 bei 60 % Umwälzleistung untersucht. Die gemessene Konzentration betrug 0,0088 mg/l THM und lag somit im Normbereich. Zur Zeit der Probenahme fand in dem Becken Wassergymnastik statt. Es gab reichlich Teilnehmer (ca. 15 Personen), so dass man von einer überdurchschnittlichen Belastung ausgehen kann. Zu der gleichen Zeit wurden die Proben für die Oxidierbarkeit gezogen. Die Grenzwerte 0,5 mg/l O₂ bzw. 2 mg/l KMnO₄ wurden ebenfalls nicht überschritten.

4.3.6.12 Besucherzahlen

Besucherzahlen erlauben die Aussage, ob der vorgeschriebene Füllwasserzusatz pro Badegast eingehalten wird. Im Warmbecken kann der Füllwasserzusatz genau überprüft werden. Die täglich zugesetzte Frischwassermenge wird auf die Besucherzahl bezogen und im Diagramm 4.30 dargestellt. Abgesehen von zwei Werten, wird der Füllwasserzusatz von 30 l/Badegast stets eingehalten.

4.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

4.4.1 Ziel

Die im Nettebad installierten Captura-Filteranlagen sollen in diesem Kapitel unter dem wirtschaftlichen Aspekt begutachtet werden. Hierfür wird für das Aktivbecken erneut die Anfrage nach einer Filteranlage zur Badewasseraufbereitung bei unterschiedlichen Herstellern von Druckfiltern getätigt. Die erhaltenen Angebote werden in Bezug auf Kosten miteinander verglichen. Die spezifischen Herstellereinstellungen entscheiden dann, welche die günstigste Variante ist. Unter dem Begriff Herstellereinstellungen versteht man die Gesamtheit der Ausgaben, die bei der Beschaffung der Anlagen, der Herstellung und dem Vertrieb des Produktes zu Lasten des Betreibers anfallen.

4.4.2 Ausschreibung

Bei der Suche nach der kostengünstigsten Lösung wurde die Anfrage an mögliche Lieferanten der öffentlichen Schwimmbadtechnik verschickt. Ausgeschrieben wurde der Druckfilter zum Kreislauf Aktivbecken.

Die Filterleistung wurde bereits in Kapitel 4.3.3 entsprechend DIN 19643 „Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser“ zu 72 m³/h ermittelt. Die Filterfläche ergab sich bei einer Filtergeschwindigkeit von 30 m/h zu 2,4 m².

Für den inneren Durchmesser eines Druckfilters gilt:

$$d_i = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \approx \underline{\underline{1,75 \text{ m}}}$$

Anhand der Auslegungsdaten wurde ein Leistungsverzeichnis erstellt und der Anfrage beigelegt.

In dem Leistungsverzeichnis (s. Tabelle 4.19) wurden Hauptkomponenten, NebenkompONENTEN und sämtliche Armaturen, Messtechnik und die Rohrleitung aufgeführt. Außerdem wurden die Montage und Installationsarbeiten hinzugezählt.

Die Anlagen zur Aufbereitung und Desinfektion von Schwimm- und Badebeckenwasser bedürfen zur Sicherheitsstellung eines einwandfreien Betriebsablaufes der Wartung und vorbeugenden Instandhaltung. Für dieses Service kann ein Vertrag mit einer Fachfirma abgeschlossen werden, somit ist es in das Leistungsverzeichnis aufgenommen worden.

Tabelle 4.19: Leistungsverzeichnis

Haupt- und NebenkompONENTEN	
Mehrschichten-Filterbehälter	Innendurchmesser des Behälters ≥ 1750 mm Filtergeschwindigkeit ≤ 30 m/h Filterleistung ≥ 72 m ³ /h
Filtermaterial	Stützschticht, Filtersand ≥ 600 mm, adsorbierende Schicht ≥ 600 mm
Differenzdruckmanometer-Station	
Automatischer Be- und Entlüfter	
Filterpumpe	Volumenstrom: 72m ³ /h
Rückspülpumpe	
Spülluftgebläse	
Filtersteuerung	Manuelle sowie automatische Ausführung
Rohrleitung	
Filtratleitung	15 m Rohrleitung, 7 \times 90°- Krümmer
Reinwasserleitung	21 m Rohrleitung, 2 \times 90°-Krümmer, 1 \times T-Stück (140 mm Eingang / 110 mm Ausgänge)
	2,5 m Rohrleitung
	für 12 Einlaufstutzen: 14 \times 90°-Krümmer, 10 \times T-Stück, 12 \times 70 mm langen Rohrstücke
5 m Rohrleitung	
Rohwasserleitung	7 m Rohrleitung, 5 \times 90° Krümmer
Schwallwasserleitung	24 m Rohrleitung
	Für 16 Rinnenstutzen: 48 \times 90° Krümmer, 48 \times 300 mm lange Rohrstücke, 16 \times T-Stücke
zu erbringende Leistungen	
Montage, Rohrleitungsverlegung, Wartung und vorbeugende Instandhaltung	

In Betracht kamen nur die Komponenten der Filteranlage. Nicht beachtet wurden die Kosten für die Desinfektionsanlage, die pH-Wert-Korrektur, die Flockungsmittel-Dosieranlage, den Schwallwasserbehälter etc., die bei den verschiedenen Filterverfahren gleich sein können.

4.4.3 Angebotseinholung

Es wurden 2 Angebote zum angefragten Druckfilter eingeholt: von der Fa. Behnke und der Fa. Fluidtec. Die Fa. Aquila stellte zum Kostenvergleich entsprechende Angaben zum Filtrationssystem Captura zur Verfügung.

4.4.3.1 Angebot Fa. Behncke

Tabelle 4.20: Angebot Fa. Behnke

Anlagenkomponente	Technische Daten			Preis [€]
Mehrschichten- Filterbehälter Typenreihe 7010 nach DIN 19605/19643	Innendurchmesser: 1800 mm Mantelhöhe: 2000 mm Schütthöhe: 1500 mm Filterleistung: 73 m³/h Betriebsdruck: 2,5 bar Werkstoff: GFK und PVC Inliner im Mantelbereich			16.481
Filtermaterial Schütthöhe 1500		Körnung [mm]	Schütthöhe [mm]	3.333
	Sand	3,15 - 5,60 (Stüttschicht)	100	
		2,00 - 3,15	100	
		1,00 - 2,00	100	
		0,40 - 0,80	600	
	Anthrazit H	0,60 - 1,60	600	
		0,40 - 0,80	500	
	Anthrazit H	0,60 - 1,60	500	
Filterpumpe HERBORNER Typ UNIBAD	Volumenstrom: 73 m³/h Leistungsaufnahme: 7,5 kW 400 V, 1,6 bar			3.077
Spülluftgebläse Drehschieber-Verdichter Typ DTLF 250	Volumenstrom: 240 m³/h Leistungsaufnahme: 7,5 kW			5.683
5-Wege-Schaltfelder	Manuell, Nennweite 200			1.880
Differenzdruck- manometerstation				380
Automatischer Be- und Entlüfter				255

**Ein- und Mehrschicht-Filterbehälter Typ 7010 Normalausführung und 7050 ozonbeständige Ausführung
für Schwimmbad- und Trinkwasseraufbereitung
nach DIN 19605*/19643 und TÜV-Baumuster geprüft
mit THA (Thermoplastische Auskleidung) nach DIN 18820
aus PVC-hart VINO FLEX der BASF im zyl. Mantelbereich.**

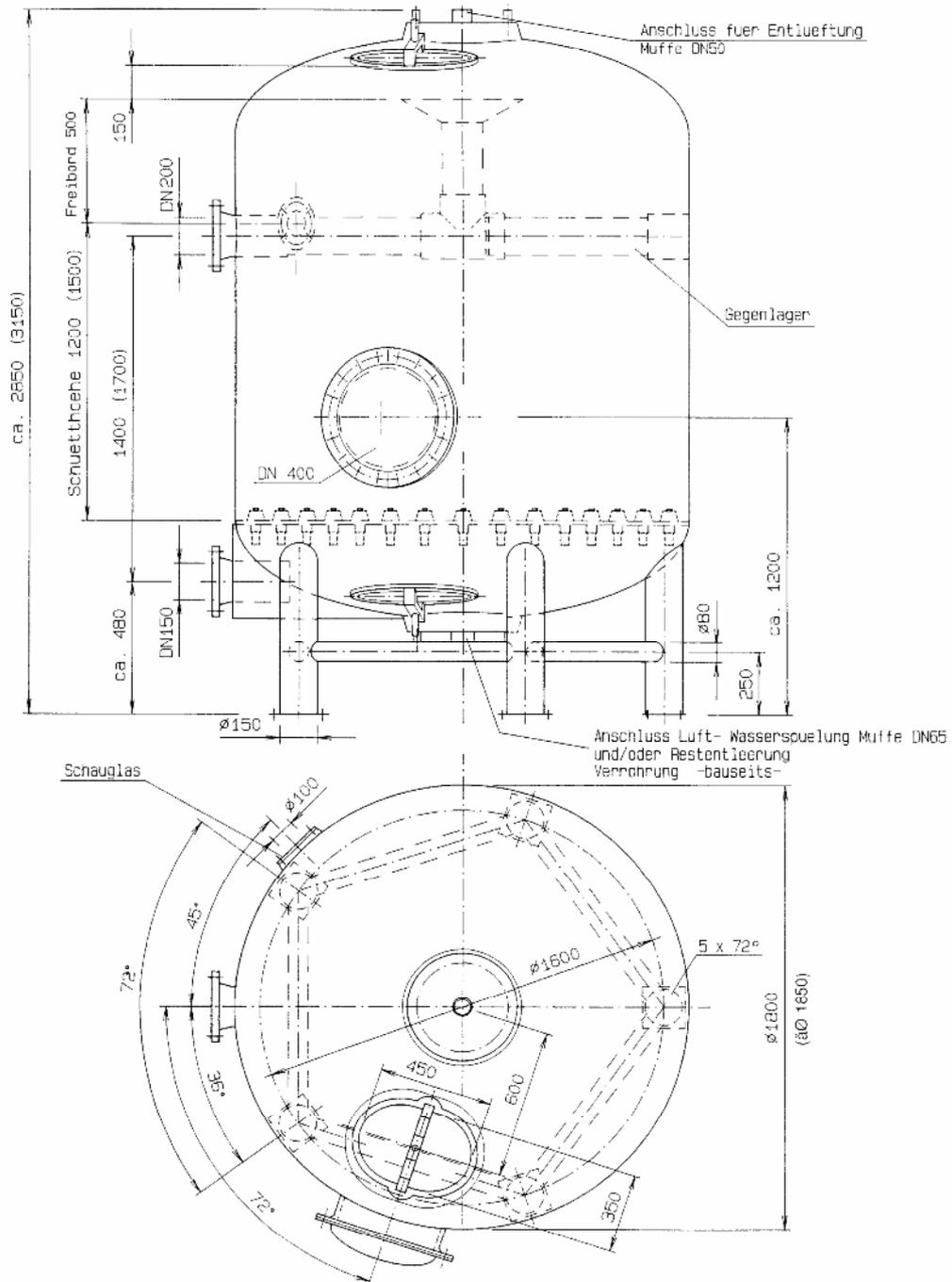
Technische Angaben

Typ 7010 Normalausführung und 7050 ozonbeständige Ausführung DI 1600 bis 3000

Durchmesser innen		mm	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Durchmesser	A	mm	1640	1850	2050	2255	2460	2670	2870	3075
Gesamthöhe ca. bei Schütthöhe 1200 Zylindr. Mantelhöhe 1700	B	mm	2800	2850	2970	3200	3200	3300	3400	3400
			1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
bei Schütthöhe 1500 Zylindr. Mantelhöhe 2000	B	mm	3100	3150	3270	3500	3500	3600	3700	3700
			2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Wanddicken zyl. Mantel Kalotte Krempe		mm	10,34	11,26	12,17	13,09	14,00	15,00	15,84	16,67
		mm	11,84	13,35	14,83	16,32	17,88	19,29	20,77	22,20
		mm	19,78	22,25	24,72	27,19	29,80	32,14	34,61	37,00
Gewichte Leergewicht bei Schütthöhe 1200 bei Schütthöhe 1500		kg	648	823	1148	1280	1656	1778	1931	2027
		kg	671	851	1181	1287	1702	1831	1991	2095
Filterleistung max. bei 50 m/h bei 30 m/h		m ³ /h	96	122	160	190	216	255	295	350
		m ³ /h	60	73	94	115	130	160	185	212
nach Werksnorm: Obere/untere Serviceöffnung (Oval-Mannloch)	C	mm	350/ 450							
nach Werksnorm: Mannloch zyl. Mantel	D	mm	400	400	500	500	500	500	500	500
Entlüftungs-Muffe	F	DN	50	50	50	65	65	65	65	65
Reinwasser-Blockfl.	M	DN	150	150	200	250	250	250	300	300
Rohwasser-Blockfl.	L	DN	200	200	250	300	300	300	300	300
Rohwasser-Innenver- rohrung mit Schlamm- wasserabfuhrtrichter	Ø	DN	200	200	250	300	300	300	300	300
		mm	400	400	500	500	500	500	500	500
Luftspülung-Muffe	P	DN	50	65	65	65	65	80	100	100
Restentleerung	P	DN	baus.							
Abstand OKFF-Mannloch Blockfl. Roh-/Reinw.	E	mm	1100	1200	1350	1350	1500	1500	1750	1750
	K	mm	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
Blockfl. OKFF-/Reinw.	N	mm	460	445	570	640	640	640	650	700
Tanklager-Stahl Füße	I	mm	1400	1600	1800	1900	2100	2300	2500	2700
		Ø/St.	150/5	150/5	150/5	150/5	200/5	200/5	200/5	200/5
Filterboden Abstützung - PVC-Vollstab Luftpolster-Rohrdüsen selbstentlüftend		m ²	2,011	2,545	3,142	3,801	4,524	5,309	6,158	7,069
		Ø/St.	60/2	60/4	60/4	60/4	60/4	60/4	60/4	60/4
		St.	150	170	204	247	294	345	400	474
max. Differenz- druck im Filter		bar	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Betriebsdruck		bar	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Prüfdruck		bar	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
TÜV-Baumuster- geprüft u. überwacht Certificate	TÜV	Nr.	Bauf. II DB 270							
Gegen Aufpreis:	Schaugläser und Beleuchtung; DN 200 von Ø 2000 bis Ø 3000 mm Sonderhöhen auch geteilt und geflanscht. Höhere Betriebs- und Prüfdrücke. Topcoat Versiegelung (=Außenanstrich)									

Abb. 4.21: Datenblatt 1 zum Rundfilter Fa. Behncke

**Ein- und Mehrschichten-Filterbehälter
für Schwimmbad und Trinkwasseraufbereitung
- öffentlich - Typ 7010 Normalausführung und 7050 ozonbeständige Ausführung
D 1800**



Technische Änderungen vorbehalten!
7/99

Betriebsdruck Schwimmbadfilter 2,5 bar
(Aufpreis) Betriebsdruck Trinkwasser bis max. 10,0 bar

Abb. 4.22: Datenblatt 2 zum Rundfilter Fa. Behncke

4.4.3.2 Angebot Fa. Fluidtec

Tabelle 4.21: Angebot Fa. Fluidtec

Anlagenkomponente	Technische Daten	Preis [€]
Filterbehälter	Innendurchmesser: 1800 mm Mantelhöhe: 2000 mm Schütthöhe: 1400 mm Durchsatz: 72 m ³ /h Max. Temp. 40°C Druckstufe: 6 bar Werkstoff: St.37 beschichtet	10.000
Filtermaterial	s. Datenblätter	1.000
Filterkreuz/ Frontverrohrung	Werkstoff: Kunststoff	2.000
Umwälzpumpe	Volumenstrom: 72 m ³ /h Leistungsaufnahme: 11,0 kW 4 bar	1.750
Rückspülpumpe	Leistungsaufnahme: 5,5 kW	1.250
Rückspülgebläse	Volumenstrom: 240 m ³ /h Leistungsaufnahme: 7,5 kW	2.000

Dimensionierungsvorschlag einer Filteranlage

Fachhochschule Osnabrück

Stand : 26.04.2003

Filtermaterial : ANTHRAFILT H Filtersand	Kornkombination I	Kornkombination II
	0,60 - 1,60 mm 0,40 - 0,80 mm	1,40 - 2,50 mm 0,71 - 1,25 mm

Berechnungsgrundlagen :

Filtergeschwindigkeit	bis 15 m/h bei offenen Filtern bis 30 m/h bei geschlossenen Filtern												
Filtermaterialschichten	<table border="1"> <tr> <td>ANTHRAFILT H</td> <td>Schicht</td> <td>600 - 800 mm bei Körnung I</td> </tr> <tr> <td>Filtersand</td> <td>Schicht</td> <td>> 600 mm bei Körnung I</td> </tr> <tr> <td>ANTHRAFILT H</td> <td>Schicht</td> <td>600 - 1.200 mm bei Körnung II</td> </tr> <tr> <td>Filtersand</td> <td>Schicht</td> <td>> 600 mm bei Körnung II</td> </tr> </table>	ANTHRAFILT H	Schicht	600 - 800 mm bei Körnung I	Filtersand	Schicht	> 600 mm bei Körnung I	ANTHRAFILT H	Schicht	600 - 1.200 mm bei Körnung II	Filtersand	Schicht	> 600 mm bei Körnung II
ANTHRAFILT H	Schicht	600 - 800 mm bei Körnung I											
Filtersand	Schicht	> 600 mm bei Körnung I											
ANTHRAFILT H	Schicht	600 - 1.200 mm bei Körnung II											
Filtersand	Schicht	> 600 mm bei Körnung II											
Freibordhöhe	25% der Filterschicht zzgl. 200 - 300 mm Sicherheitszuschlag												
Anlage Durchsatz	72 m³/h												
Anzahl der Filter	1 Stück geschlossene Filter												

Dimensionierung :

Filtergeschwindigkeit	28,3 m/h
Abmessung \varnothing innen	1.800 mm
Filterfläche	2,54 m²
Volumen Filtermaterial	1,53 m³
Höhe der Schüttung	600 mm ANTHRAFILT H 600 mm Filtersand
Höhe der Stützschrift	200 mm
Freibordhöhe	600 mm
zylindrische Mantelhöhe (Filterschüttung + Freibord)	2.000 mm

Körnungen Stützschrift :

5,6 - 8,0 mm	Schichthöhe	100 mm
3,15 - 5,6 mm	Schichthöhe	100 mm
2,0 - 3,15 mm	Schichthöhe	100 mm

Rückspülung :

1. Wasser-Spülung	ca. 35 m/h	ca. 5 Min.	K I
	ca. 55 m/h	ca. 5 Min.	K II
2. Absenken des Wasserspiegels bis knapp über die Filterschicht			
3. Luft Spülung	ca. 60 m/h	ca. 5 Min.	K I & II
4. Verweilzeit zum Ausgasen der Spülluft		ca. 5 Min.	K I & II
5. Klarspülen mit Wasser	ca. 35 m/h	ca. 5 Min.	K I
	ca. 55 m/h	ca. 5 Min.	K II
6. Einfiltrieren			
Spülluftstrom	153 m³/h	K I & II	
Spülwasserstrom	89 m³/h	K I	140 m³/h K II

Abb. 4.23: Mehrschichtenfilterdatenblatt 1 Fa. Fluidtec

Filtration: geschlossene Filter

FLUIDTEC
FLUESSIGKEITSTECHNOLOGIE

Durchsatz (gesamt) 72 m³/h

Durchsatz pro Filter 72 m³/h

zylindrische Höhe 2000 mm => Schüttung + Freibord

freier Querschnitt Ø_{innen} 1800 mm

Filtergeschwindigkeit 28,3 m/h

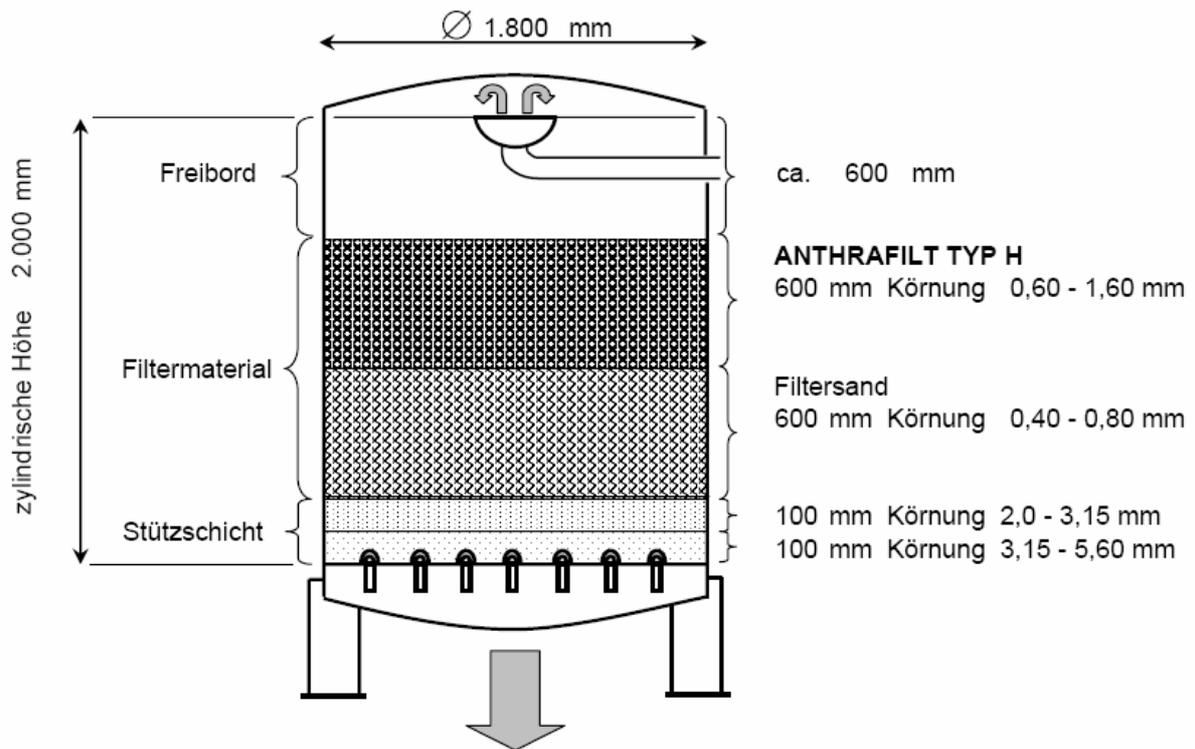


Abb. 4.24: Mehrschichtfilterdatenblatt 2 Fa. Fluidtec

4.4.3.3 Angebot Fa. Aquila

Technische Datenblätter zu Captura-Filteranlage im Kreislauf Aktivbecken sind Abb. 4.3 und Abb. 4.4 zu entnehmen. Die Preisliste ist in Tabelle 4.22 enthalten.

Tabelle 4.22: Angebot einer Captura-Filteranlage der Fa. Aquila

Anlagenkomponente	Technische Daten	Preis [€]
Mehrschichtenfilterbehälter Typ Captura	Länge: 2000 mm Breite: 1000 mm	6.298,30
Mehrschichtenfilterbehälter Typ Captura	Länge: 2000 mm Breite: 500 mm	5.182,00
Filtermaterial	für 1 m ² -Filter	415,00
Filtermaterial	für 2 m ² -Filter	830,00
Filtratpumpe	für 2 m ² -Captura	2.038,00 incl. Montage
Filtratpumpe	für 1 m ² -Captura	1.616,00 incl. Montage
Spülwasserpumpe	Leistungsaufnahme: 4 kW	1.696,00 incl. Montage
Spülluftgebläse	Leistungsaufnahme: 5 kW	2.385,00 incl. Montage

Die Montagekosten des jeweiligen Filters betragen:

1 m ² -Captura Filters	1.948,00 €
2 m ² -Captura Filters	2.598,00 €

Tabelle 4.23: Angebot der Fa. Aquila für Rohrleitung

Einbauort	Rohrleitungselemente	Nennweite	Preis[€]
Filtratleitung	15 m Rohrleitung, 7 × 90°- Krümmer	DN 140	1.414,00
Reinwasserleitung	21 m Rohrleitung, 2 × 90°-Krümmer, 1 × T-Stück (140 mm / 110 mm)	DN 110	938,42
	2,5 m Rohrleitung für 12 Einlaufstutzen: 14 × 90°-Krümmer, 10 × T-Stücke, 12 × 70 mm langen Rohrstücke	DN 50	437,33
	5 m Rohrleitung	DN 75	210,60
Rohwasserleitung	7 m Rohrleitung, 5 × 90° Krümmer	DN 140	375,40
Schwallwasserleitung	24 m Rohrleitung	DN140	1385,06
	Für 16 Rinnenstutzen: 48 × 90° Krümmer, 48 × 300 mm lange Rohrstücke, 16 × T-Stücke	DN 75	1189,83

4.4.4 Prüfung und Wertung von Angeboten

Bei der Bewertung von Angeboten sind wichtige Grundsätze wie Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit zu beachten. Ein bedeutendes Entscheidungsinstrumentarium bei der Vergabe ist die Kostenvergleichsrechnung.

Der Betreiber einer Anlage ist stets nach möglichst niedrigen Beschaffungskosten bestrebt. Je niedriger die Investitionskosten sind, desto schneller rentiert sich die Anlage. Neben dem Angebotspreis bestimmen auch die Betriebsmittel wie Energie- und Rohstoffkosten die Wirtschaftlichkeit eines Angebots. Die Betriebsmittel-, Personal- sowie Wartungs- und Instandhaltungskosten werden zusammengenommen auch als Betriebskosten bezeichnet. Sie fallen ständig über den Betriebszeitraum der Anlage an.

In folgenden Kapiteln sollen die gesamten Herstellerkosten ermittelt werden und dann als Ganzheit zur Bewertung und zum Vergleich der jeweiligen Angebote herangezogen werden.

4.4.4.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten sind die zur Erstellung und zum Erwerb oder zur Erneuerung von Anlagen erforderlichen einmalig aufzuwendenden Kosten. Fallen die Investitionskosten über mehrere Jahre verteilt an, so werden sie auf die Jahreskosten durch Multiplikation des Angebotspreises I_0 mit dem Annuitätsfaktor a umgerechnet.

$$K_i = I_0 \cdot a \quad [23] \quad \text{Gl. 4-5}$$

Unter Annuität versteht man Abschreibung und Verzinsung. Der finanzmathematische Ansatz für den Annuitätsfaktor (Kapitalwiedergewinnungsfaktor) lautet:

$$a = \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}} \quad [23] \quad \text{Gl. 4-6}$$

n : Untersuchungszeitraum

p : Zinssatz

In dieser Kostenvergleichsrechnung wird ein Zeitraum von 15 Jahren betrachtet und ein kalkulatorischer Zinssatz von 5 % zugerechnet. Es ergibt sich ein Annuitätsfaktor von

$$a = \frac{0,05}{1 - (1 + 0,05)^{-15}} a^{-1} = 0,096 a^{-1}$$

Soll innerhalb der Betrachtungszeit eine Anlagenkomponente ersetzt werden, entstehen zusätzliche Kosten für die Ersatzbeschaffung. Gl. 4-5 wird somit durch den Faktor für die Ersatzbeschaffung f vervollständigt:

$$K_i = I_0 \cdot a \cdot f \quad [23] \qquad \text{Gl. 4-7}$$

Gl. 4-7 ist nur dann anzuwenden, wenn der zu untersuchende Zeitraum n größer als die Nutzungsdauer m ist.

Bei den künftig anfallenden Kosten ist eine Preisentwicklung zu berücksichtigen. So wird im Angebot Fa. Behnke ein Teuerungsaufschlag von 4 % vorgesehen. Dieser Wert wird für die jährliche Preissteigerung der Anlagenkomponente s_a herangezogen. Die Preisänderung und die Nutzungsdauer müssen daher in die Formel des Ersatzbeschaffungsfaktors einfließen:

$$f = 1 + \left(\frac{1 + s_a}{1 + p}\right)^m \cdot \frac{1 - (1 + p)^{m-n}}{1 - (1 + p)^{-m}} \quad [23] \qquad \text{Gl. 4-8}$$

Für die automatische Ermittlung der Investitionskosten wird in Excel eine Tabelle erstellt und mit den jeweiligen Formeln hinterlegt (s. Tabelle 4.24).

Die Montagearbeiten fallen nur einmal an und gehören ebenfalls zu den Investitionskosten. Die Rohrleitungsverlegung ist bereits im Preis inbegriffen. Im Angebot der Fa. Aquila sind die Montagekosten in den Preisen für Verdichter, Pumpen und andere Nebenkosten enthalten. Die Montage der beiden Filter kostet 4.546 €.

Da in den Angeboten der Fa. Fluidtec und der Fa. Behncke kein Richtpreis für die Montagekosten unterbreitet ist, wird bei allen drei Angeboten für eine überschlägige Rechnung die Installation der Filter, zugehöriger Steuerungstechnik und Inbetriebnahme von 5 T. € angenommen.

Der teuerste Anlagenteil der Filteranlage Captura ist der Schaltschrank. Er ist nicht nur für die Filteranlage, sondern für die Regelung und Steuerung des gesamten Aufbereitungsprozesses zuständig, so z. B. für die Flockungsmittel- und Chlordosierung. Wenn im Angebot der Fa. Aquila Anlagenteile mit zusätzlichen Funktionen enthalten sind, müssen sie auch bei den anderen Angeboten ebenfalls berücksichtigt werden.

Deshalb wird den Druckfiltern zusätzlich eine Schaltschrankanlage zugeordnet. Der Preis wird zu 8 T. € geschätzt.

Als Beispiel werden im Folgenden die Investitionskosten für das Filtermaterial der Fa. Fluidtec berechnet. Das Filtermaterial wird für 1 T. € angeboten. Laut Fa. Aquila müssen die Filterschichten alle 8 bis 10 Jahre ausgetauscht werden. Somit liegt die Nutzungsdauer unterhalb der Betrachtungszeit. Anzuwenden sind Gl. 4-7 und Gl. 4-8:

$$f = 1 + \left(\frac{1 + 0,04}{1 + 0,05}\right)^{10} \cdot \frac{1 - (1 + 0,05)^{10-15}}{1 - (1 + 0,05)^{-10}} = 1,51$$

$$K_i = 1.000 \text{ €} \cdot 0,096 \text{ a}^{-1} \cdot 1,51 = \underline{\underline{145 \frac{\text{€}}{\text{a}}}}$$

Die jährlichen Investitionskosten für einzelne Bestandteile der Filteranlage werden anschließend aufsummiert (s. Tabelle 4.24).

4.4.4.2 Honorare der HOAI

In diesem Abschnitt werden die Entgelte der Ingenieure für Projektierung der ausgewählten Filteranlage entsprechend der HOAI ermittelt. HOAI ist die Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und Ingenieure. Ihre Bestimmungen gelten unter anderem für die Leistungen bei der technischen Ausrüstung soweit sie durch Bestimmungen dieser Verordnung erfasst werden. Technische Ausrüstung umfasst die Anlagen von Ingenieurbauwerken auch auf dem Gebiet der Wasser- und Abwassertechnik [24]. Das Honorar für Leistungen der Technischen Ausrüstung richtet sich nach den anrechenbaren Kosten der Anlage, nach der Honorarzone, und nach der Honorartafel. Die geplante Filteranlage lässt sich in Honorarzone II einordnen, die Wasser- und Abwasseranlagen mit umfangreichen verzweigten Rohrnetzen, Hebeanlagen und Druckerhöhungsanlagen umfasst.

Die anrechenbaren Investitionskosten von Filteranlage der Fa. Aquila betragen ca. 46 T. €. Da diese Kosten nur grob ermittelt sind, wird das Honorar für eine überschlägige Rechnung auf einen Investitionsrahmen von 50 T. € bezogen.

Übernimmt der Auftragnehmer alle in § 73 aufgezählte Grundleistungen, so ergibt sich ein Honorar in Höhe von 14.380 €. Somit entstehen für den Betreiber 14.380 € als Kosten für die Grundlagenermittlung, Vorplanung, Entwurfs-, Genehmigungs-

Ausführungsplanung, Vorbereitung und Mitwirkung bei der Vergabe, Bauüberwachung, Objektbetreuung und Dokumentation.

In Tabelle 4.24 werden die gesamten jährlichen Abschreibungskosten dargestellt. Betrachtet werden die Investitionskosten der einzelnen Anlagenkomponenten, Montage- und Inbetriebsetzungskosten sowie die Ingenieursleistungen.

Tabelle 4.24: Abschreibungskosten

Firma	Anlagenkomponente	Angebotspreis	Kalkulationszins	Untersuchungszeitraum	Nutzungsdauer	jährl. Preissteigerung	Annuitätsfaktor	Faktor für Ersatzbeschaffung	jährl. Investitionskosten	
		I_0	p	n	m	s_a	a	f	K_i	
		[€]	[a ⁻¹]	[a]	[a]	[a ⁻¹]	[a ⁻¹]	[-]	[€/a]	
Aquila	Filtermaterial für beide Captura-Filter	1245,00	0,05	15	10	0,04	0,096	1,510	181	
	1 m ² -Filter	5100,00	0,05	15	30		0,096		491	
	2 m ² -Filter	6298,30	0,05	15	30		0,096		607	
	Filtratpumpe 1	1616,00	0,05	15	30		0,096		156	
	Filtratpumpe 2	2038,00	0,05	15	30		0,096		196	
	2×Frequenzumrichter	1600,00	0,05	15	30		0,096		154	
	Spülwasserpumpe für 2 m ² -Filter	2092,00	0,05	15	30		0,096		202	
	Spülluftgebläse	2385,00	0,05	15	30		0,096		230	
	2×Differenzdruckmanometer	1272,00	0,05	15	15		0,096		123	
	Schaltschrankanlage	16200,00	0,05	15	30		0,096		1561	
	Rohrleitung und Armaturen	5950,64	0,05	15	30		0,096		573	
	Grundleistungen HOAI	14380,00	0,05	15	30		0,096		1385	
	Montage und Inbetriebsetzung	5000,00	0,05	15	30		0,096		482	
	Summe	65176,94							6340	
Fluidtec	Filtermaterial	1000,00	0,05	15	10	0,04	0,096	1,510	145	
	Filterbehälter+Düsen+Filterkreuz	12350,00	0,05	15	30		0,096		1190	
	Umwälzpumpe	1750,00	0,05	15	30		0,096		169	
	Rückspülpumpe	1250,00	0,05	15	30		0,096		120	
	Spülluftgebläse	2000,00	0,05	15	30		0,096		193	
	Differenzdruckmanometer	380,00	0,05	15	15		0,096		37	
	5-Wege-Schaltfelder manuell	1880,00	0,05	15	30		0,096		181	
	Schaltschrank	8000,00	0,05	15	30		0,096		771	
	Rohrleitung und Armaturen	5950,64	0,05	15	30		0,096		573	
	Grundleistungen HOAI	14380,00	0,05	15	30		0,096		1385	
	Montage und Inbetriebsetzung	5000,00	0,05	15	30		0,096		482	
	Summe	53940,64							5246	
	Behncke	Filtermaterial	3333,00	0,05	15	10	0,04	0,096	1,510	485
		Filterbehälter	16481,00	0,05	15	30		0,096		1588
Filterpumpe		3077,00	0,05	15	30		0,096		296	
automatischer Be- und Entlüfter		255,20	0,05	15	30		0,096		25	
Rückspülpumpe		1250,00	0,05	15	30		0,096		120	
Spülluftgebläse		5683,00	0,05	15	30		0,096		548	
Differenzdruckmanometer		380,00	0,05	15	15		0,096		37	
5-Wege-Schaltfelder manuell		1880,00	0,05	15	30		0,096		181	
Schaltschrank		8000,00	0,05	15	30		0,096		771	
Rohrleitung und Armaturen		5950,64	0,05	15	30		0,096		573	
Grundleistungen HOAI		14380,00	0,05	15	30		0,096		1385	
Montage und Inbetriebsetzung		5000,00	0,05	15	30		0,096		482	
Summe		65669,84							6490	

4.4.4.3 Energiekosten

Die Energiekosten setzen sich zusammen aus Stromkosten für den Betrieb der Umwälzpumpe, Rückspülpumpe und des Spülluftgebläses. Es wird für jeden Stromkonsumenten die erforderliche Jahresenergie E_a ermittelt. Die durchschnittlichen jährlichen Energiekosten ergeben sich dann durch Multiplikation mit dem spezifischen Energiepreis $k_{e,0}$:

$$K_e = E_a \cdot k_{e,0} \cdot m_e \quad [23] \quad \text{Gl. 4-9}$$

$k_{e,0}$ ist der gegenwärtige Energiepreis. m_e ist der Mittelwert der Energieverteuerung. Insbesondere bei Energiepreisen, die seit Längerem steigen, ist es empfehlenswert, die künftige Entwicklung zu berücksichtigen. So hat die Deutsche Bank 2005 die Solarbranche analysiert, und hat für die Kilowattstunde konventionell erzeugten Stroms eine Preissteigerung von 2,5 % jährlich prognostiziert [25]. Die Windkraft Nord GmbH kalkuliert für den Betrieb der Windenergieanlagen ebenfalls mit 2,5 % Kostensteigerung des benötigten Stroms [14]. Für die Preissteigerungsrate s_e werden somit 2,5 % übernommen und in die Formel der mittleren Verteuerung der Energie m_e einbezogen:

$$m_e = \frac{1 + s_e}{p - s_e} \cdot \left(1 - \left(\frac{1 + s_e}{1 + p}\right)^n\right) \cdot a \quad [23] \quad \text{Gl. 4-10}$$

Die mittlere Energieverteuerung beträgt:

$$m_e = \frac{1 + 0,025_e}{0,05 - 0,025_e} \cdot \left(1 - \left(\frac{1 + 0,025}{1 + 0,05}\right)^{15}\right) \cdot 0,096 = 1,19$$

Im Folgenden wird für jede angebotene Anlage die erforderliche Jahresenergie ermittelt. Der Kostenvergleich soll für alle Angebote die gleichen Betriebsbedingungen voraussetzen. In die Berechnungen geht dabei die jährliche Betriebszeit des Aktivbeckens von 52 Wochen ein. Die eigentlich Filtrationszeit bzw. Umwälzbetrieb beträgt 7.800 h. Zur Sicherstellung hygienisch einwandfreier Verhältnisse soll der Filter gemäß DIN 19643-1 mindestens zweimal wöchentlich gespült werden. Für ein Jahr werden somit 104 Spülgänge einkalkuliert.

Energiekosten der Filteranlage der Fa. Fluidtec:

Die Leistungsaufnahme der Umwälzpumpe ist in dem Datenblatt mit 11 kW angegeben. Für den Energieverbrauch gilt dann:

$$E_{\text{Umwälzpumpe/a}} = \frac{7.800 \text{ h}}{a} \cdot 11,0 \text{ kW} = 85.800,0 \frac{\text{kWh}}{a}$$

Die Spülwasserpumpe wird innerhalb eines Spülganges zweimal jeweils für 5 Minuten eingeschaltet und arbeitet mit 5,5 kW. Die jährliche Betriebszeit der Rückspülpumpe wird wie folgt berechnet:

$$t_{\text{Spülwasserpumpe/a}} = 104 \cdot 10 \frac{\text{min}}{a} \approx 17 \frac{\text{h}}{a}$$

Die Wasserspülung erfordert demnach einen jährlichen Energieverbrauch von:

$$E_{\text{Spülwasserpumpe/a}} = \frac{17 \text{ h}}{a} \cdot 5,5 \text{ kW} = 93,5 \frac{\text{kWh}}{a} .$$

Die Luftspülung wird innerhalb von 5 Minuten durchgeführt. Der jährliche Verdichterbetrieb und dabei entstehender Stromverbrauch ergeben sich zu:

$$t_{\text{Luftspülung/a}} = 104 \cdot 5 \text{ min} = 9 \text{ h}$$
$$E_{\text{Spülluftgebläse/a}} = \frac{9 \text{ h}}{a} \cdot 7,5 \text{ kW} = 67,5 \frac{\text{kWh}}{a}$$

Die Energieaufnahme der einzelnen Konsumenten wird aufsummiert und auf die gesamten Energiekosten umgerechnet. Der Kostenrechnung wird ein spezifischer Preis von 0,10 €/kWh zugrunde gelegt.

$$E_{/a} = (85800,0 + 93,5 + 67,5) \frac{\text{kWh}}{a} = 85961,0 \frac{\text{kWh}}{a}$$

$$K_{e,0} = 8.596 \frac{\text{€}}{a}$$

Wird der Energieverteuerung Rechnung getragen, so erhöhen sich die Energiekosten auf

$$K_e = 8.596 \frac{\text{€}}{a} \cdot 1,19 = \underline{\underline{10.229 \frac{\text{€}}{a}}} .$$

Energiekosten der Filteranlage der Fa. Behncke:

Die Filterpumpe HERBORNER Typ UNIBAD fördert 73 m³/h und hat eine Leistung von 7,5 kW. Das Spülluftgebläse nimmt ebenfalls 7,5 kW auf. Die technischen Daten des Druckfilters enthalten keine Anweisungen zu der Filterspülung. Da das Spülprogramm aus dem Filterdatenblatt der Fa. Fluidtec zu den Gängigsten gehört, wird es zur groben Einschätzung für den Filter der Fa. Behncke verwendet. Somit können die Betriebszeiten von Verdichter ebenfalls übernommen und mit der jeweiligen Leistungsaufnahme zu Energiekosten umgerechnet werden.

$$E_{\text{Umwälzpumpe/a}} = \frac{7.800 \text{ h}}{a} \cdot 7,5 \text{ kW} = 58500,0 \frac{\text{kWh}}{a}$$

$$E_{\text{Spülluftgebläse/a}} = \frac{9 \text{ h}}{a} \cdot 7,5 \text{ kW} = 67,5 \frac{\text{kWh}}{a}$$

Im Angebot der Fa. Behncke ist keine Rückspülpumpe enthalten. Das Angebot wird deswegen durch die von Fa. Fluidtec angebotene Rückspülpumpe vervollständigt.

$$E_{\text{Spülwasserpumpe/a}} = 93,5 \frac{\text{kWh}}{a}$$

$$E_a = (58500,0 + 67,5 + 93,5) \frac{\text{kWh}}{a} = 5.8661,0 \frac{\text{kWh}}{a}$$

$$K_{e,0} = 5.866 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_e = 5.866 \frac{\text{€}}{a} \cdot 1,19 = \underline{\underline{6.981 \frac{\text{€}}{a}}}$$

Energiekosten der Captura-Filteranlage der Fa. Aquila:

Der Energieverbrauch der beiden Filtratpumpen im Kreislauf Aktivbecken wird bei einer Umwälzleistung von 72 m³/h bereits in Kapitel 4.3.6.1 bestimmt und beträgt 34,25 MWh/a.

Der Spülvorgang der Captura-Filter läuft im Nettebad automatisch ab. Das Spülprogramm wird in Tabelle 4.25 dargestellt.

Beide Filter werden mit einer Spülwasserpumpe gereinigt. Sie wird in der Spülphase 5 und 6 betätigt (s. Tabelle 4.25).

$$t_{\text{Rückspülpumpe/a}} = 2 \cdot 104 \cdot (3 \cdot 9 + 240) \frac{s}{a} \approx 15 \frac{h}{a}$$

Die Pumpenleistung beträgt 4 kW. Der jährliche Energiestrom errechnet sich zu

$$E_{\text{Spülwasserpumpe/a}} = \frac{15 h}{a} \cdot 4 kW = 60,0 \frac{kWh}{a}$$

Tabelle 4.25: Angaben zum Spülprogramm eines Captura-Filters

Ablauf der Filterspülung			
1.	Beruhigen vor Start	10 sec	ca. 10 min
2.	Absenken	70 sec	
3.	Luftspülen	40 sec	
4.	Pause nach Luftspülen	3 × 35 sec.	
5.	Anspülen mit Wasser	3 × 9 sec.	
6.	Wasserspülen	240 sec	
7.	Erstfiltrat	120 sec	
Spülwassermenge (2 m ² -Filter)		6,5 m ³	
Spülwassermenge (1 m ² -Filter)		3,25 m ³	

Die Luftspülung eines einzelnen Captura-Filters wird für 40 Sekunden ausgelöst. Die Verdichterleistung beträgt 5 kW. Für die jährliche Energieaufnahme gilt:

$$t_{\text{Luftspülung/a}} = 2 \cdot 104 \cdot 40 \frac{s}{a} \approx 2 h$$

$$E_{\text{Spülluftgebläse/a}} = \frac{2 h}{a} \cdot 5 kW = 10 \frac{kWh}{a}$$

Für die gesamte Filteranlage ergibt sich:

$$E_{/a} = (34250 + 60 + 10) \frac{kWh}{a} = 34320 \frac{kWh}{a}$$

$$K_{e,0} = 3.432 \frac{€}{a}$$

$$K_e = 3.432 \frac{€}{a} \cdot 1,19 = 4.084 \frac{€}{a}$$

4.4.4.4 Rohstoffkosten

Die Rohstoffkosten einer Filteranlage K_R resultieren aus der Filterspülung. Wird dem Kreislauf zur Spülung Wasser entzogen, so wird genauso viel Füllwasser in den Schwallwasserspeicher nachgespeist. Sonstige Verluste von Beckenwasser werden hier nicht berücksichtigt.

Die Schwimmbäder verfügen meistens über eine eigene Wasserquelle oder beziehen das Füllwasser aus dem Trinkwassernetz. Im Nettebad wird das Wasser aus einem Brunnen geschöpft. Der Preis für das Brunnenwasser beträgt $0,5 \text{ €/m}^3$.

Spülwasserkosten der Filteranlage der Fa. Fluidtec:

Der Wasserverbrauch zum Filterspülen lässt sich anhand des festgelegten Spülprogramms ermitteln. Der Ablauf sowie die einzelnen Spülphasen sind im Datenblatt 1 beschrieben. Die Dauer der Wasserspülung bezogen auf ein Jahr wird bereits in Kapitel 4.4.4.3 ermittelt und beträgt 17 h. Gespült wird mit einem Spülwasserstrom von $89 \text{ m}^3/\text{h}$. Daraus resultiert im Jahr folgender Füllwasserzusatz:

$$V_{\text{Spülwasser}} = 89 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 17 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 1.513 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}$$

Die jährlichen Kosten für die Füllwassernachspeisung, die den Spülwasserverbrauch kompensieren soll, errechnen sich zu

$$K_R = 1.513 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} \cdot 0,5 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \approx \underline{\underline{757 \frac{\text{€}}{\text{a}}}}$$

Spülwasserkosten der Filteranlage der Fa. Behncke:

Die Rückspülpumpe sowie der Spülungsablauf werden aufgrund fehlender Angaben aus dem Angebot der Fa. Fluidtec übernommen. So ergeben sich die gleichen Rohstoffkosten in Höhe von 757 €/a .

Spülwasserkosten der Captura-Filteranlage der Fa. Aquila:

In Tabelle 4.25 ist für beide Filter ein Spülwasserverbrauch von ca. $9,8 \text{ m}^3$ pro Spülgang angegeben. Da im Jahr jeder Filter 104 Mal gespült wird, ist jährlich ein Spülwasservolumen von 1.019 m^3 erforderlich.

Die Rohstoffkosten betragen dann
$$K_R = 1.019 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} \cdot 0,5 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \approx \underline{\underline{510 \frac{\text{€}}{\text{a}}}}$$

4.4.4.5 Abwasserkosten

Die Massenbilanzen für einen Filter ergeben, dass genauso viel Schlammwasser anfällt, wie zur Filterspülung erforderlich ist. Dabei wird die Menge an ausgetragenen Verunreinigungen sowie das Rohwasser, welches nach dem Absenken im Filterbett verbleibt, vernachlässigt. Unter dieser Annahme entspricht das in einem Jahr anfallende Schlammwasservolumen dem des Spülwassers. Im Nettebad wird das Schlammwasser mittels Ultrafiltration aufbereitet. Es existieren allerdings noch keine Anhaltswerte für die Betriebskosten der eingesetzten Aufbereitungsanlage.

Wird das Schlammwasser in die Kanalisation entsorgt, so kostet es die Stadtwerke Osnabrück 1,74 €/m³.

$$\text{Angebot der Fa. Fluidtec: } K_A = 1.513 \frac{m^3}{a} \cdot 1,74 \frac{\text{€}}{m^3} = \underline{\underline{2.633 \frac{\text{€}}{a}}}$$

$$\text{Angebot der Fa. Behncke: } K_A = \underline{\underline{2.633 \frac{\text{€}}{a}}}$$

$$\text{Angebot der Fa. Aquila: } K_A = 1.019 \frac{m^3}{a} \cdot 1,74 \frac{\text{€}}{m^3} = \underline{\underline{1.773 \frac{\text{€}}{a}}}$$

4.4.4.6 Personalkosten

Personalkosten sind Kosten, die dem Betreiber durch das Bedienungs-, Wartungs- und Instandhaltungspersonal entstehen.

Bedienungspersonal:

Die Angaben für den Personalaufwand einer Filteranlage stammen von den Stadtwerken Osnabrück. Wird die Filterspülung eines Filters manuell durchgeführt, so ist der Zeitaufwand von 6 Stunden pro Woche anzusetzen. Die spezifischen Personalkosten betragen 35 €/h. Es handelt sich dabei um einen Richtpreis.

Für die Druckfilteranlage der Fa. Behncke wird ein manuelles Schaltfeld angeboten. Die manuelle Schaltung wird ebenfalls dem Druckfilter der Fa. Fluidtec zugeordnet, um die Personalkosten abschätzen zu können. Ausgehend von 52 Betriebswochen resultieren daraus die Kosten für das Bedienungspersonal zu

$$K_p(\text{manuelle Schaltung}) = \frac{52 \cdot 6 \text{ h}}{a} \cdot 35 \frac{\text{€}}{\text{h}} = \underline{\underline{10.920 \frac{\text{€}}{a}}}$$

Die Captura - Filteranlage wird vollautomatisch ausgeführt. Die Automatisierung umfasst den selbstständigen Ablauf der gesamten Filterspülung. Der Personalaufwand beschränkt sich auf das Nachfüllen der Chemikalien, Prüfung und gegebenenfalls Justierung der Mess- und Regeltechnik, Kontrolle von Hygienehilfsparameter und Vorfilterreinigung. Der Arbeitsaufwand beschränkt sich auf 2 Stunden pro Woche. Die entsprechenden Personalkosten errechnen sich zu

$$K_p(\text{Vollautomatik}) = \frac{52 \cdot 2 \text{ h}}{a} \cdot 35 \frac{\text{€}}{\text{h}} = \underline{\underline{3.640 \frac{\text{€}}{a}}}$$

Die Regelung und Visualisierung erfolgt über den Schaltschrank. Die einzelnen Sollgrößen können direkt am Display oder über eine Modemverbindung eingestellt werden, was die Bedienung äußerst einfach macht.

Wartung und Instandhaltungskosten:

Die Wartung und Instandhaltung der Aufbereitungsanlage ist laut DIN 19643-1 einmal im Jahr durchzuführen. Bei den jährlich durchzuführenden Arbeiten wird im Besonderen auf folgendes geachtet:

- Kontrolle der verfahrensgerechten Filterspülung
- Überprüfung der Filterfüllung
- Wartung aller Maschinen und Apparate sowie Armaturen
- Prüfung der Schaltanlagen durch sowie Sicherheitseinrichtungen
- Kontrolle der Anlagenteile auf Verschleiß- und Korrosionserscheinungen. [1]

Zum Wartungsumfang zählt außerdem die Prüfung der Chemikaliendosieranlagen mit zugehöriger Mess- und Regelungstechnik. Zwar wird in dieser Arbeit nur der Verfahrensschritt Filtration begutachtet, in das Leistungsverzeichnis wird jedoch die Wartung und Instandhaltung der gesamten Aufbereitungsanlage aufgenommen. Die entsprechenden Kosten nur explizit für die Filteranlage sind nur schwer zu ermitteln. Die einwandfreie Funktion eines bestimmten Anlagenteiles setzt stets das fehlerfreie Arbeiten der übrigen Komponenten voraus. So wird die Anlage als Ganzes geprüft.

Die Fa. Aquila bewertet den Wartungsaufwand für die angebotene vollautomatisierte Anlage wie im Kreislauf Aktivbecken zu 1.500 €/a. Über eine Modemverbindung kann die gesamte Anlage von jedem Ort überwacht und bedient werden. Diese Fernwartung ist äußerst kostensparend.

Die Wartungs- und Instandhaltungskosten von 1.500/a € werden zur Abschätzung ebenfalls für die Druckfilteranlagen übernommen.

4.4.5 Kostenvergleich im Aktivbecken

Zur Übersicht werden die ermittelten jährlichen Kosten in Tabelle 4.26 für die verschiedenen Angebote gegenübergestellt. Die Kosten für die Aufbereitung von 1 m³ Wasser geben die spezifischen Herstellerkosten an. Für die Umrechnung auf spezifische Herstellerkosten sind der Filtratvolumenstrom sowie die jährliche Filtrationszeit erforderlich. Die Filterleistung einzelner Druckfilter geht aus den Filterdatenblättern hervor. Die jährliche Filtrationszeit beträgt im Aktivbecken 7.800 h. Die Wasserkosten in

Tabelle 4.26 berücksichtigen zusätzlich die Rinnenreinigung, den Messwasserverbrauch der Regelungsanlage, Verschleppung und Verdunstung des Beckenwassers sowie die sonstigen Verluste. Sie wurden für das Aktivbecken bereits im Kapitel 4.3.6.4 berechnet. Da solche Wasserverluste nichts mit der Filterart zu tun haben, wird für jedes Angebot die gleichen Kosten übernommen.

Die Investitionskosten sind bei Captura und der Druckfilteranlage der Fa. Behncke annähernd gleich. Die jährlichen Abschreibungskosten des Druckfilters der Fa. Fluidtech sind ca. um 1 T. € niedriger. Die entscheidende Rolle spielen die Betriebskosten. Die Energiekosten ergeben sich hauptsächlich aus dem Betrieb der Umwälzpumpen. Die Captura-Filter arbeiten mit frequenzgesteuerten, saugenden Pumpen. Bei den Druckfilteranlagen ist die Rohwasserpumpe nicht nur für die Umwälzung zuständig, sie baut den erforderlichen Überdruck in der Rohwasserkammer auf. So werden die Stromkosten der Captura-Anlage um 40 - 60 % eingespart. Der Wasserverbrauch beträgt nur 2/3 eines Drucksandfilters. Ein erheblicher Unterschied ergibt sich bei den Personalkosten. Diese sind bei einer vollautomatisierten Captura-Anlage um ca. 7 T. € geringer.

Tabelle 4.26: Kostengegenüberstellung für die Filteranlage im Kreislauf „Aktivbecken“

		Aquila	Fluidtec	Behncke
Investitionskosten [€/a]		6.340	5.246	6.490
Energiekosten [€/a]		4.084	10.229	6.981
Füllwasserkosten [€/a]	Filterspülung	510	757	757
	Reinigung der Schwallwasserrinne	273	273	273
	Messwasser	144	144	144
	Verschleppung, Verdunstung, sonstige Verluste	112	112	112
Abwasserkosten [€/a]	Filterspülung	1.773	2.633	2.633
	Reinigung der Schwallwasserrinne	950	950	950
	Messwasser	501	501	501
Anlagenbedienung [€/a]		3.640	10.920	10.920
Kosten für die Wartung und Instandhaltung [€/a]		1.500	1.500	1.500
gesamte Herstellkosten [T. €/a]		19,8	33,3	31,31
Filterleistung [m³/h]		72	72	73
jährl. Filtrationszeit [h/a]		7.800	7.800	7.800
Spez. Herstellkosten [€/m³]		0,035	0,059	0,055
jährl. Energieverbrauch [MWh/a]		34,32	85,96	58,66
spez. Energieverbrauch [Wh/m³]		61	153	103
spez. Spülwasserverbrauch [m³/m²]		3,25	6,18	6,18 (Annahme)

Der Vergleich spezifischer Herstellkosten über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren zeigt, dass es für den Betreiber günstiger ist für die Wasseraufbereitung des Aktivbeckens Captura-Filter zu beschaffen.

4.4.6 Kostenvergleich im gesamten Nettebad

4.4.6.1 Investitionskosten

Im Rahmen der Projektierungsphase im Nettebad hat das Ing.-Büro Krawinkel einen Kostenvergleich zwischen Captura und der konventionellen Filtertechnik durchgeführt. Der ermittelte Investitionsrahmen für Drucksandfilter lag bei ca. 1,3 Mio. €. Der Einbau der Captura-Systeme hätte auf Grundlage des Kostenvergleichs Mehrkosten in Höhe von ca. 400.000 € verursacht [27].

Beim Neubau der Technikräume würden sich diese Investitionskosten stark reduzieren. Die Spül- und Schlammwasserspeicher der Captura-Anlagen benötigten laut Ing.-Büro Krawinkel im Nettebad einen um 200 m³ kleineren Raum. In der Aufstellungsfläche bestand kaum ein Unterschied, es sei denn, die Abstände zwischen den einzelnen Druckfiltern sollten groß gehalten werden, z. B. für eine umlaufende Rohrleitung. Wenn nur der umbaute Raum der Filter selbst betrachtet wird, so kommen die Ersparnisse in der Höhe zustande, jedoch hauptsächlich bei einer großen Anlagenkapazität. Während z. B. Druckfilter mit einem Durchmesser von 3,5 m eine Raumhöhe von ca. 5 m benötigen, werden die Captura-Filter standardmäßig ausgeführt und erfordern 2,9 m an Raumhöhe.

Im Nettebad bestanden bereits die alten Technikräume, so dass durch den Einbau der Captura-Filter nur folgende Rausersparnisse entstanden sind:

- Es wurde für das Freibad eine neue Technikzentrale gebaut, die bei den Drucksandfiltern ca. 400 m³ größer wäre.
- Ursprünglich war für das Schwimmerbecken beim Einbau von Drucksandfiltern eine Zentrale mit ca. 500 m³ umbauten Raum erforderlich
- Für die Rutschenlandebecken war ein zusätzlicher Technikraum mit 80 m³ geplant.

Grob geschätzt konnten im Nettebad ca. 980 m³ an umbauten Raum eingespart werden. Wenn man von einem Grundpreis von 250 €/m³ des Technikraumes ausgeht, sind mindestens 245 T. € gespart worden. Für den Mehraufwand an Investitionskosten verbleiben somit 155 T. €.

Abhängig von den örtlichen Gegebenheiten können die Aufwendungen für den Bau des Technikraumes sehr stark variieren. Bei einem hohen Grundwasserspiegel und

den damit verbunden zusätzlichen Kosten für die Wasserhaltung oder Auftriebsicherung des Gebäudes, fällt die Raumhöhe stärker bei den Baukosten ins Gewicht als die Raumfläche.

4.4.6.2 Energiekosten

Im Nettebad werden beim Filtrieren jährlich 672 MW verbraucht. Dabei laufen die Filtrationsanlagen mit 100 % Umwälzleistung, die nachts auf 60% reduziert wird. Der spezifische Energieverbrauch des beschriebenen Teillastbetriebs liegt bei ca. 51 Wh/m³, bei Volllast ergeben sich 61 Wh/m³.

Es ist nun die Frage, welche Betriebsart heranzuziehen ist, wenn der Vergleich mit einer Druckfilteranlage durchgeführt wird. Natürlich wären die realen Verhältnisse angebracht. Schwierig ist dabei abzuschätzen, wie groß der spezifische Energieverbrauch der Umwälzpumpen einer Druckfilteranlage sein wird. Hier gibt es zwei unterschiedliche Betriebsweisen. Früher sind die Pumpen mit konstanter Drehzahl eingesetzt worden. So liegt in den meisten Bädern bis heute noch eine Drosselregelung vor. Bei der Planung eines neuen Schwimmbades bzw. bei einer Umrüstung wäre der Vergleich mit einer Druckfilteranlage, deren Umwälzpumpen bei Teillast gedrosselt werden, nicht mehr standhaft. Heutzutage wird die Filterleistung der Druckfilter ebenfalls mit Frequenzumrichtern geregelt. Diese Betriebsweise erlaubt eine enorme Minderung des Energieverbrauchs und ist somit für den Kostenvergleich entscheidend. Die Drosselregelung wird dennoch zusätzlich betrachtet, um zu zeigen, welche Stromkostensenkung eine Umrüstung der alten Anlagen mit der Captura-Technik erbringen würde.

Vergleich zu Druckfilteranlagen mit einer Drosselregelung:

Inwieweit sich die Stromaufnahme durch die Drosselung reduziert, hängt von der Pumpenkennlinie ab. Arbeitet die Pumpe im gedrosselten Zustand, so wird die Leistung gegenüber der Volllast vermindert. Der jährliche Energieverbrauch bei Teillast wird also minimiert. Der spezifische Energieverbrauch wird dagegen höher, da die Förderhöhe durch den künstlichen Druckverlust zunimmt. Diese Tatsache wird aus Abb. 4.25 ersichtlich.

$$P = Y \cdot \dot{m}$$

$$P = H \cdot g \cdot \dot{V} \cdot \rho$$

$$P \cdot t = H \cdot g \cdot V \cdot \rho$$

$$E \sim H \cdot V$$

$$\frac{E}{V} \sim H$$

$$E_{\text{spez.}} \sim H$$

P - Leistung

Y - spez. Stutzenarbeit

\dot{m} - Massenstrom

\dot{V} - Volumenstrom

H - Förderhöhe

g - Erdbeschleunigung

V - umgewälztes Volumen in der Zeit t

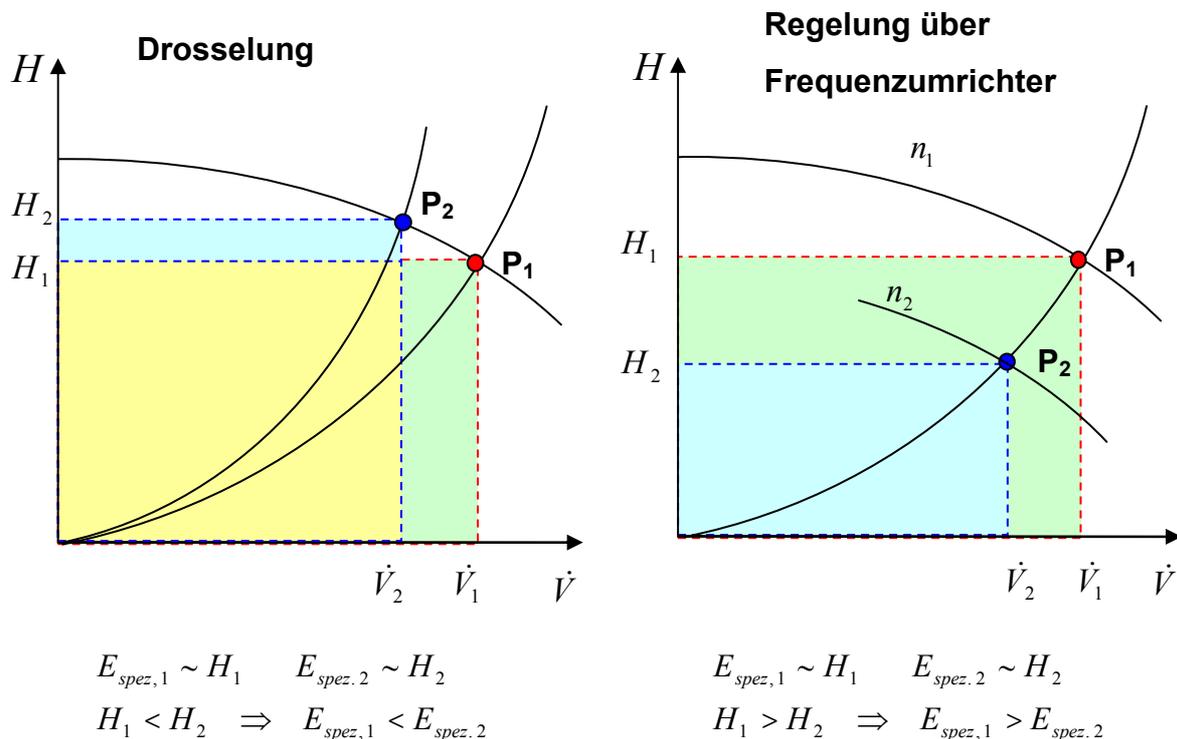


Abb. 4.25: Energieverbrauch bei Drosselung bzw. Drehzahlregelung der Umwälzpumpen

Durch eine Drosselung des Volumenstroms auf der Druckseite der Pumpe verschiebt sich der Arbeitspunkt P_1 auf der Pumpenkennlinie in Richtung eines reduzierten Volumenstroms zu P_2 . Die hydraulischen Verluste werden künstlich erhöht. Ein Teil der von der Pumpe aufgenommenen Energie wird dabei dissipiert. Insgesamt mindert sich durch eine Drosselung die Stromaufnahme nur gering. Der spezifische Energieverbrauch ist proportional zur Förderhöhe H und nimmt demnach bei einer Drosselregelung zu.

Wird die Drehzahl mit einem Frequenzumrichter geregelt, so verlagert sich der Arbeitspunkt P_1 entlang der Anlagenkennlinie zur niedrigeren Drehzahl n_2 . Dabei ent-

stehen keine zusätzlichen Druckverluste. Der Energieverbrauch wird um ein Vielfaches reduziert. Die Förderhöhe und somit der spezifische Energieverbrauch nehmen ab.

Zum Kostenvergleich wird der spezifische Energieverbrauch des Teillastbetriebes herangezogen. So werden die Einsparungen eher unterschätzt als überschätzt.

Wenn z. B. die Pumpe bereits bei 100 % Umwälzleistung im gedrosselten Zustand arbeitet, so ist der jährliche Energieverbrauch weniger als im ungedrosselten Zustand. Folglich werden viel höhere Energiekosten einer Druckfilteranlage berechnet als in der Realität. So ist der spezifische Verbrauch der Druckfilteranlage im Schinkelbad zu 117 Wh/m³ bestimmt worden. Die angebotenen Druckfilter der Fa. Behncke und der Fa. Fluidtec verbrauchen laut Berechnungen 103 Wh/m³ und 153 Wh/m³. Bei einem bekannten empirischen Wert für den spezifischen Energieverbrauch eines Druckfilters würde dieses Risiko nicht entstehen. Die Kennwerte der heutzutage eingesetzten Drucksandfilter liegen zwischen 80 Wh und 100 Wh je m³ aufbereitetes Wasser. Dem nachfolgenden Kostenvergleich wird die höhere Stromaufnahme von 100 Wh/m³ zugrunde gelegt, um einen erhöhten spezifischen Energiebedarf bei Drosselung in den Nachtstunden zu berücksichtigen.

Tabelle 4.27: Filtratmenge im Nettebad

	Teillastbetrieb	
	100 % Umwälzleistung in der Öffnungszeit	60 % Umwälzleistung nachts
Jährl. Filtratvolumen	9.369 T. m ³	2.609 T m ³
	11.978 T. m ³	

Im Nettebad werden jährlich 11.978 T. m³ Filtrat erzeugt. Wie viel davon mit 100% oder 60% Filterleistung umgewälzt wurden, ist der Tabelle 4.27 zu entnehmen. Der Energieverbrauch der Captura-Filter wird bereits im Kapitel 4.3.6.2 ermittelt. Bei der Druckfilteranlage ist dann in der nachstehenden Berechnung die gleiche Umwälzmenge voranzusetzen.

$$\text{Tabelle 4.14} \Rightarrow K_e (\text{Teillastbetrieb, Captura}) = 67 \frac{T \cdot \text{€}}{a}$$

$$E_a (\text{Teillastbetrieb, Druckfilter}) = 100 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \cdot 11.978 \cdot 10^3 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} \approx 1.198 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$$

$$K_e (\text{Druckfilter}) = 120 \frac{\text{T. €}}{\text{a}}$$

Eine herkömmliche Druckfilteranlage, deren Umwälzleistung über Nacht auf 60 % gedrosselt wird, verbraucht laut dieser Berechnung 44 % mehr an Strom als die Captura-Filter. Bei einer Anlagenkapazität wie im Nettebad würden jährlich ca. 53 T. € an zusätzlichen Energiekosten zum Tragen kommen.

Vergleich zu Druckfilteranlagen mit einer Drehzahlregelung:

Durch die Frequenzregelung von Pumpen wird die Drehzahl an den erforderlichen Volumenstrom angepasst. Nach dem Ähnlichkeitsgesetz gelten dabei für den Förderstrom und für die Leistung folgende Beziehungen:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \quad \text{Gl. 4-11}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3 \quad [30] \quad \text{Gl. 4-12}$$

Die gemessene Leistung der Captura-Anlage im Aktivbecken wird gemäß der Ähnlichkeitstheorie überprüft und in Tabelle 4.28 veranschaulicht. Diese berücksichtigt nicht nur die Energie für die Umwälzung, sondern auch die Umleitung durch den Bypass eines Wärmetauschers.

Tabelle 4.28: Leistungsaufnahme der Captura-Anlage in Hinsicht auf Ähnlichkeitsbeziehungen

	Messwerte			Umformung gemäß der Ähnlichkeitstheorie			
	E _{spez.}	Q		P	P _x /P ₁	(V _x /V ₁) ³	η ₁ /η _x
	Wh/m ³	%	m ³ /h	kW			
1.	61,0	100	72	4,39			
2.	50,6	80	58	2,93	0,67	0,52	1,29
3.	38,5	60	43	1,66	0,38	0,21	1,81

Es stellt sich heraus, dass die Werte aus Tabelle 4.28 die Gl. 4-12 nicht erfüllen. Dies deutet auf einen variablen Wirkungsgrad hin. Bei größeren Drehzahlregelungen kann der Wirkungsgrad angenähert nach folgender Gleichung berücksichtigt werden:

$$\frac{P_1}{P_2} \approx \frac{\eta_2}{\eta_1} \cdot \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^3 \quad [30]$$

Der Energieverbrauch einer Druckfilteranlage liegt zwischen 80 und 100 Wh/m³. Eine Drucksandfilteranlage hat bei gleichen Verhältnissen eine höhere statische Förderhöhe (Nullförderhöhe) als eine Captura-Anlage. Diese Differenz ist die statische Förderhöhe, die zur Entlüftung im Druckfilter erforderlich ist.

Auf Nachfrage bei der Fa. Aquila werden Daten einer konventionellen Anlage zur Verfügung gestellt. Die Betrachtungen gelten für den Kreislauf Aktivbecken. Die Förderhöhe einer konventionellen Filteranlage im Kreislauf Aktivbecken kann z. B. von der Pumpe 100-271/0754 X der Fa. Herborner Pumpenfabrik realisiert werden. Fördert die Umwälzpumpe mit einer konstanten Drehzahl einen Volumenstrom von 72 m³/h, so würde die Leistungsaufnahme laut der Pumpenkennlinie 6,75 kW betragen, die einer spezifischen Energie von 93 Wh/m³ entspricht [28]. Wird diese Pumpe mit einem Frequenzumrichter ausgestattet, so geht die Leistung auf 4,74 kW bzw. 85 Wh/m³ zurück. Bei einer Herabsetzung der Drehzahl auf 60 % ist die Veränderung des Wirkungsgrades zu berücksichtigen. Es wird im Folgenden auf das Verhältnis der Wirkungsgrade zurückgegriffen, welches anhand der Versuchsergebnisse resultierte. Falls der Wirkungsgrad der Umwälzpumpe einer Druckfilteranlage sich im gleichen Maße verändert, wie bei den selbstansaugenden Pumpen der Captura-Filter, kann vom folgenden Energieverbrauch des Drucksandfilters ausgegangen werden:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} \cdot \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)_{Captura} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \cdot \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)_{Druckfilter} = 0,38$$

$$P_{Druckfilter} (60 \% \text{ Umwälzleistung}) = 0,38 \cdot 6,1 \text{ kW} = 2,3 \text{ kW}$$

$$E_{spez., Druckfilter} (60 \% \text{ Umwälzleistung}) = \frac{2,3 \text{ kWh}}{43 \text{ m}^3} = 53,5 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3}$$

In die Umrechnung für das Nettebad werden die Werte aus Tabelle 4.28 eingesetzt:

Druckfilter:

$$K_e (\text{Teillastbetrieb } 100\% / 60\%) = \left(85 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \cdot 9.369 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} + 53,5 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \cdot 2.609 \frac{\text{m}^3}{\text{a}} \right) \cdot 0,1 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 94 \text{ T.€} / \text{a}$$

Captura-Filter:

$$K_e (\text{Teillastbetrieb } 100\% / 60\%) = 67 \text{ T.€} / \text{a}$$

Gegenüber der Ausstattung mit Captura-Filtern entstehen somit bei den Druckfilteranlagen mit Frequenzumrichtern um 29 % höhere Energiekosten. Die jährliche Differenz beträgt ca. 27 T. €

4.4.6.3 Spülwasserverbrauch im gesamten Nettebad

Der Füllwasserverbrauch kann sich je nach Filterart ändern. So werden z. B. im Schinkelbad zur Spülung der Druckfilter 9 m³/m² Wasser verbraucht, während ein Captura-Filter nur 3,25 m³/m² benötigt. Die gängigsten Druckfilter verbrauchen im Durchschnitt 8 m³/m² Spülwasser. Die DIN 19643 empfiehlt mindestens eine Spülmenge von 6 m³ je m² Filterfläche. Sehr nah an diesem Wert liegt z. B. der Spülwasserverbrauch des Druckfilters der Fa. Fluidtec. Für die Berechnungen wird somit der Spülwasserverbrauch von 6 m³/m² eines Drucksandfilters festgelegt, um minimale Ersparnisse zu ermitteln.

Der Wasserverbrauch zur Filterspülung wurde für das gesamte Nettebad bereits im Kapitel 4.3.6.5 ermittelt. Hier werden die Wasserkosten zur Übersicht aufgeführt:

Spülwasserkosten (Captura, Nettebad): 9,8 T. €/a

Abwasserkosten (Captura, Nettebad): 34,1 T. €/a

Insgesamt werden im Hallenbad 40 Filter eingesetzt mit einer gesamten Filterfläche von 56,6 m². Das Freibad verfügt über 10 Filter mit einer Filterfläche von 19 m². Die Betriebszeit im Hallenbad beträgt 52 Wochen und im Freibad 120 Tage (17 Wochen). Die Filterspülung wird zweimal wöchentlich durchgeführt. Ein Kubikmeter Brunnenwasser kostet das Nettebad 0,5 €. Die Füllwasserkosten einer Druckfilteranlage er rechnen sich wie folgt:

$$V_a(\text{Spülwasser, Druckfilter}) = 2 \cdot 6 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \cdot \left(\frac{52}{a} \cdot 56,6 \text{ m}^2 + \frac{17}{a} \cdot 19 \text{ m}^2 \right) = 39.194 \frac{\text{m}^3}{a}$$

$$K(\text{Spülwasser, Druckfilter}) = 20 \text{ T.€} / a$$

Bei der Wasseraufbereitung mit den Druckfiltern würden im Nettebad somit jährliche Mehrkosten in Höhe von 10 T. € entstehen. Würde man noch die Abwasserkosten einbeziehen, so kostet die Entsorgung in die Kanalisation:

$$K(\text{Schlammwasser, Druckfilter}) = 39.194 \frac{\text{m}^3}{a} \cdot 1,74 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 68 \text{ T.€} / a$$

Die kleineren Spülwassermengen der Captura-Filter setzen die Abwasserkosten gegenüber den Drucksandfiltern um ca. 34 T. €/a herab, wenn die Schlammwässer in

die Kanalisation entsorgt werden. In Wirklichkeit werden die Abwässer im Nettebad mit einer Ultrafiltrationsanlage aufbereitet. Allgemein sind die spezifischen Wasserkosten einer Captura-Anlage um 46 % niedriger als bei den Druckfiltern.

4.4.6.4 Gesamter Kostenvergleich

Die Abschreibungskosten für das gesamte Nettebad werden analog zu Kapitel 4.4.4.1 berechnet. Dabei wird zunächst ermittelt, dass die Ausstattung des Nettebades mit den Captura-Filtern sich in 2,35 Jahren rentiert. Zugrunde gelegt wird ein Zinssatz von 5 %.

Gl. 4-6 liefert:
$$a = \frac{0,05}{1 - (1 + 0,05)^{-2,35}} a^{-1} = 0,462 a^{-1}$$

Für die Abschreibung der Investitionsmehrkosten gilt nach Gl. 4-5:

$$K_i = 0,462 a^{-1} \cdot 155 T. \text{ €} = 72 \frac{T. \text{ €}}{a}$$

Bei den Energiekosten wird die Verteuerung (Preissteigerungsrate = 2,5 %) mit in Erwägung gezogen, so dass beim Einsatz in Gl. 4-10 sich folgende Energiekosten ergeben:

$$m_e = \frac{1 + 0,025}{0,05 - 0,025} \cdot \left(1 - \left(\frac{1 + 0,025}{1 + 0,05}\right)^{2,5}\right) \cdot 0,462 = 1,04$$

$$K_e (\text{Captura}) = 67 \frac{\text{€}}{a} \cdot 1,04 \approx 70 T. \text{ €} \quad K_e (\text{Druckfilter}) = 94 \frac{\text{€}}{a} \cdot 1,04 \approx 98 T. \text{ €}$$

Tabelle 4.29: jährliche Kosten der Filteranlagen im gesamten Nettebad

	Captura-Filter	Drucksandfilter	Differenz
Investitionskosten [T. €]	1.455	1.300	- 155
Investitionskosten betrachtet über 2,5 Jahren [T. €/a]	672	600	- 72
Energiekosten der Umwälzpumpen [T. €/a]	70	98	+ 28
Spülwasserkosten [T. €/a]	10	20	+ 10
Abwasserkosten [T. €/a] (Entsorgung in Kanalisation)	34	68	+ 34
Gesamtkosten [T. €/a]	786	786	0

Tabelle 4.29 zeigt die jährlichen Investitionskosten unter Berücksichtigung des Kapitaldienstes, sowie Energie- und Wasserkosten. Innerhalb der Betrachtungszeit von 2,35 Jahren werden die Investitionsmehrkosten vollständig durch die Ersparnisse der Betriebskosten gedeckt. Das bedeutet, die Amortisation der Captura-Filter kann sich im Netzebad bereits nach ca. 2,35 Jahren einstellen. Die Wasserkosten werden um 50 % reduziert, die Energiekosten um 29 %. Falls sich die Schlammwasseraufbereitung im eigenen Hause als besonders wirtschaftlich erweist, werden die Entsorgungskosten weniger sein. Die Energieersparnisse gegenüber den Druckfiltern wurden als minimal angesetzt. Die Berechnung gilt für die Druckfilter, dessen Pumpen ebenfalls über einen Frequenzumrichter verfügen. Bei einer Drosselregelung ist die Differenz an Stromkosten erheblicher.

4.4.7 Diskussion

Grundsätzlich konnte bestätigt werden, dass im Nettebad durch den Einsatz von Captura-Filtern ein umweltschonender Umgang mit den Ressourcen ermöglicht worden ist.

Sehr genau wurde im Nettebad der Kreislauf Aktivbecken mit einer Filterleistung von $72 \text{ m}^3/\text{h}$ untersucht. Eine herkömmliche Druckfilteranlage im Schinkelbad mit der kleineren Filterleistung von $64 \text{ m}^3/\text{h}$ verbrauchte ungefähr die doppelte Energie. Für die Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs der Druckfilteranlage wurde die Pumpenleistung den Typenschildern entnommen. Da die Pumpen im gedrosselten Zustand arbeiteten, war der theoretisch ermittelte Energiebedarf des Druckfilters jedoch etwas höher als der wirkliche.

Die Füllwassernachspeisung machte im Aktivbecken 55 % des Bedarfes im Schinkelbad aus. Der Wasserverbrauch entstand nicht nur durch die Filterspülung, sondern auch durch die Rinnenreinigung, das Messwasser der Regelungsanlagen und sonstige Verluste. Die örtlichen Gegebenheiten waren unterschiedlich, so dass es nicht richtig gewesen wäre, den gesamten Füllwasserverbrauch miteinander zu vergleichen. Zum Beispiel wurde die Schwallwasserrinne im Schinkelbad nur einmal in der Woche gereinigt, im Aktivbecken dagegen täglich.

Als Vergleichsparameter diente der Spülwasserverbrauch eines Druckfilters. Dieser Anteil des Füllwassers war 63 % höher als bei den Captura-Filtern im Aktivbecken. Der Unterschied von 63 % kann nicht für alle Druckfilter verallgemeinert werden. Die zu niedrig ausgelegte Umwälzleistung der Aufbereitungsanlage im Schinkelbad führte dazu, dass der Druckfilter viel zu schnell verschmutzte und nicht zweimal, sondern dreimal in der Woche gespült wurde. Bei einer größeren Filterleistung hätte wahrscheinlich eine zweimalige Spülung in der Woche ausgereicht. Andererseits sollte die Filterfläche größer ausgelegt werden, wodurch zusätzlicher Spülwasserverbrauch entstehen würde. Es war demnach spekulativ, ob sich bei einer sachgerechten Badbetriebsführung im Warmbecken Schinkelbad eine niedrigere Füllwassernachspeisung einstellen könnte.

Von Interesse war mehr der spezifische Spülwasserverbrauch, der nicht von den örtlichen Gegebenheiten, sondern vom Filtertyp abhängig gewesen ist. Bei Captura-Anlagen wurden $3,25 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Captura mit 2 m^2 Filterfläche) und $3,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Captura mit 1 m^2 Filterfläche) festgelegt. Die Spülung des Drucksandfilters im Schinkelbad

wurde manuell ausgeführt. Die Spüldauer variierte. Der Spülwasserverbrauch konnte im Durchschnitt zu $9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ermittelt werden. Die neuen Drucksandfilter sind in Bezug auf den Wasserverbrauch mittlerweile viel besser optimiert worden. Die Vergleichsanlage im Schinkelbad war zu alt, um relevante Ergebnisse zu liefern.

Die zu klein ausgelegte Umwälzleistung im Schinkelbad könnte dazu geführt haben, dass die Hygiene-Hilfsparameter, vor allem das gebundene Chlor, häufig nicht eingehalten wurden. Die Abweichungen vom Grenzwert waren nur geringfügig, so dass eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit nicht gegeben war. Außerdem wurden keine Krankheitserreger im Reinwasser und im Becken festgestellt.

Zusätzlich wurde speziell für das Aktivbecken eine Anfrage an mögliche Druckfilter-Hersteller gestartet. Erhaltene Angebote wurden einem Kostenvergleich unterzogen. Die Berechnungen beruhten auf der Annuitäten-Methode. Bilanziert wurden die Kapital-, Energie-, Wartungs- und Unterhaltungskosten über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren. Die Captura-Anlage hat sich dabei gegenüber den Druckfiltern als wirtschaftlichste Lösung erwiesen. Der berechnete Energieverbrauch lag 40 % bis 60 % unterhalb derjenigen von den Druckfiltern. Die Berechnungen bezogen sich auf die maximale Pumpenleistung. Falls die Pumpen über einen Frequenzumrichter laufen, könnte sich ein kleinerer Energieverbrauch ergeben. Ein Frequenzumrichter wäre nur dann von Gebrauch gewesen, wenn die Druckfilteranlage das Wasser eines einzelnen Beckens aufbereiten sollte. In der Praxis werden häufig große Filter zur Umwälzung mehrerer Becken eingesetzt. Um jedes Becken mit der erforderlichen Umwälzmenge betreiben zu können, müssten die Teilströme angedrosselt werden.

Der jährliche Spülwasserverbrauch betrug laut Kostenvergleich im Aktivbecken $2/3$ des Spülwasserverbrauchs des Druckfilters der Fa. Fluidtec. Der Unterschied an spezifischem Spülwasserbedarf lag dagegen bei 50 %. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die Filterfläche eines Druckfilters an die jeweilige erforderliche Umwälzleistung genauer angepasst werden konnte. So war im Aktivbecken mindestens eine Filterfläche von $2,4 \text{ m}^2$ erforderlich. Die nächst passende Filterfläche eines Captura beträgt 3 m^2 und eines Druckfilters $2,5 \text{ m}^2$. Die größere Captura-Filterfläche führte zu einem entsprechend höheren Spülwasserverbrauch. Die Spülwasserkosten hatten auf die gesamten Herstellkosten nur wenig Einfluss, wohl aber die Abwasserkosten.

Anschließend wurde das gesamte Nettebad in Hinblick auf Investitions-, Energie- und Wasserkosten begutachtet. Während die Investitionskosten der kleinen Anlage im Aktivbecken für Druckfilter und Captura ungefähr gleich blieben, war der Unterschied, bezogen auf die gesamte Filtertechnik im Nettebad, erheblich. Der Investitionsrahmen bei einer Ausstattung mit Captura-Filtern war um 155 T. € höher angesetzt. Die Umrechnung vorher gewonnener Ergebnisse auf das gesamte Nettebad ergab, dass der Energieverbrauch bzw. die Energiekosten zu 1/3 reduziert wurden. Der Wasserverbrauch lag bei 54 % derjenigen von Drucksandfiltern.

Die gesamten Einsparungen an Betriebskosten (Strom, Wasser und Abwasser) im Nettebad wurden bei einer Ausstattung mit Captura-Technik zu ca. 72 T. €/a ermittelt. Die Kostenvergleichsrechnung basierte bzgl. der Drucksandfilter teilweise auf geschätzten Werten. Zu verstehen war mehr die Bandbreite um die 72 €/a. Die theoretischen Einsparungen wurden noch vor Inbetriebnahme zu 75 T. €/a bestimmt. Damit sind die Erwartungen an das neue Filtersystem Captura im Nettebad Osnabrück durchaus erfüllt worden.

4.4.8 Ausblick

Die einzelnen Aufbereitungsanlagen sind im Nettebad für eine Nennbesucherzahl ausgelegt. Sie richtet sich nach der Beckenart und nach der Wasserfläche. Bei manchen Becken wird diese Nennbesucherzahl nicht erreicht, so dass eine Minderung der Umwälzleistung möglich ist. Jedes Becken soll dann nach der Belastung über längere Zeit beurteilt werden, in dem man die Besucherzahlen pro Stunde mit der Nennbelastung vergleicht.

Die Nennbelastung N eines Beckens ist die bei der Auslegung zugrunde gelegte Anzahl von Badenden in einer Stunde Betriebszeit. Die Nennbelastung und der Belastbarkeitsfaktor k bestimmen anschließend die Umwälzleistung.

$$Q = \frac{N}{k} \qquad \text{Gl. 4-14}$$

Der Belastbarkeitsfaktor darf nach DIN 19643-1 generell den Wert $0,6 \text{ m}^{-3}$ nicht überschreiten. Für die Verfahrenskombination Flockung – Filtration – Chlorung, die im Nettebad Verwendung findet, beträgt der Belastbarkeitsfaktor $0,5 \text{ m}^{-3}$, entsprechend einem Reinwasservolumen von 2 m^3 je Person. Die Untersuchungen im Rahmen der Diplomarbeit zeigen, dass bei einer geminderten Umwälzleistung im Aktivbecken von 80 % und 60 % die mikrobiologischen Anforderungen stets erfüllt bleiben. Auch die

Hygiene-Hilfsparameter sind eingehalten worden, abgesehen von einigen stoßartigen Abweichungen des freien Chlors und der Redox-Spannung. Die Konzentration an Trihalogenmethane lag im Normbereich. Die Abweichungen sind durch regelungstechnische Störungen verursacht worden und hängen nicht direkt mit der Umwälzleistung nicht zusammen. Die Umformung der Gl. 4-14 für reduzierte Umwälzleistung ergibt folgende Werte:

$$k = \frac{N}{Q}$$

$$100 \% \text{ Umwälzleistung} \Rightarrow k = 0,5 \frac{1}{m^3}$$

$$80 \% \text{ Umwälzleistung} \Rightarrow Q_{80\%} = 0,8 Q$$

$$k_{80\%} = \frac{N}{0,8 Q} = \frac{0,5}{0,8 m^3} = 0,625 \frac{1}{m^3}$$

$$60 \% \text{ Umwälzleistung} \Rightarrow k_{60\%} = \frac{N}{0,6 Q} = \frac{0,5}{0,6 m^3} = 0,833 \frac{1}{m^3}$$

Die Umwälzleistung von 80 % entspricht in etwa dem höchst erlaubten Belastbarkeitsfaktor von $0,6 m^{-3}$. Im Interesse niedriger Betriebskosten soll die Möglichkeit betrachtet werden, den Belastbarkeitsfaktor der Captura-Verfahren auf $0,6 m^{-3}$ festzusetzen. Letztendlich kann darüber nur im DIN-Ausschuss entschieden werden. Der Höchstwert ist bei den Verfahrenskombinationen mit einer integrierten Ozonstufe erlaubt. Ozon oxidiert in stärkerem Maße die Vorläufersubstanzen der Trihalogenmethane und des gebundenen Chlors. In dem Captura-Filter können die gesundheitlich bedenklichen Nebenprodukte der Chlorung, THM und gebundenes Chlor, weitestgehend reduziert werden. Sogar bei einer Umwälzleistung von 60 % liegen die Werte unter dem Grenzwert.

Der Belastbarkeitsfaktor $0,6 m^{-3}$ hätte im Nettebad erhebliche Energieeinsparungen zur Folge. Denkbar wäre z. B. ein Teillastbetrieb aus 80 % Umwälzleistung während der Öffnungszeiten und 60 % in der Nacht. Auf diese Weise könnten die Stromkosten jährlich um zusätzliche 18 T. € herabgesetzt werden.

Das Maß der Einsparung, die infolge dieser Maßnahme zu erwarten ist, hängt sehr stark von der Art, Größe, Betriebsweise und Auslegung des Bades und seiner Technik ab und kann daher nicht als allgemein gültig beziffert werden.

5 Zusammenfassung

Innerhalb der beiden Forschungsprojekte wurde die neue Filtertechnik Captura im Labor und anschließend im Pilotmaßstab erprobt.

Als erstes wurde die Wirksamkeit der Filterspülung bewiesen. Im Labor für Verfahrenstechnik wurden hierzu die Strömungsprofile erstellt sowie der Spülvorgang visuell veranschaulicht. In den Randbereichen des Filters waren leicht erhöhte Fließgeschwindigkeiten festzustellen. Dies war ein positives Ergebnis, denn besonders in den Ecken waren Totzonen zu befürchten. Dort wo langsame Fließgeschwindigkeiten vorherrschen, bilden sich ideale Brutstätten für Krankheitserreger wie Legionellen. Ist der Filter verkeimt, so wird seine vollständige Desinfektion betriebstechnisch nur schwierig umzusetzen und ist mit vielen Sicherheitsmaßnahmen verbunden. Manchmal ist es leichter das Filterbett komplett zu ersetzen.

Außer in den Randbereichen mit ca. 8 % höherer Geschwindigkeit, war die Filterfläche gleichmäßig durchströmt. Im Realbetrieb konnte beobachtet werden, wie das Schlammwasser gleichmäßig über die Kante abließ. In den Druckfilter wurden dagegen in der Nähe des Sammeltrichters Verwirbelungen und eine Schäumung registriert. Die optimierten Strömungsverhältnisse ermöglichten einen verkürzten Spülgang. Dadurch wurde weniger Wasser (3,25 bzw. 3,3 m³ je m² Filterfläche) verbraucht.

Im nächsten Schritt wurde der Spülvorgang im Realbetrieb analysiert. Am Ende jedes einzelnen Spülganges war eine weitgehende Entfernung der Verunreinigungen festzustellen. Untersucht wurde zusätzlich die Variante mit einer halbierten Braunkohlekoksschicht. Es waren dabei keine nennenswerten Veränderungen festzustellen. Später wurde im Nettebad die Halbierung der Braunkohlekoksschicht bei einer hohen Besucherzahl nochmals getestet. Im Filtrat waren hierbei erhöhte Werte an THM festzustellen. Aus diesem Grunde ist der Filterbetrieb mit verminderter Filterschicht nicht ratsam, ohne weitere Untersuchungen durchzuführen.

Die Ressourceneinsparung wurde im Nettebad genauestens untersucht. Die alten Druckfilter aus dem Schinkelbad mussten mit dreifacher Wassermenge gespült werden. Die neuen Druckfilter erfordern ca. 6 m³ Wasser je Filterfläche zuzüglich Absenkwasser und Erstfiltrat, sofern dies nicht durch zusätzliche Installationen zurückgeführt wird, und somit doppelt soviel wie der Captura. Die Frischwasserkosten sind

in diesem Falle durch den eigenen Brunnen zwar gering, die dabei anfallenden Abwasserkosten sind allerdings nicht unerheblich. Durch die Wassereinsparung können im Nettebad jährlich 44 T. € erspart bleiben.

Weiterhin waren die Stromkosten zu ermitteln. Die Umwälzleistung und somit die Filterleistung ist im Aktivbecken im Interesse niedrigerer Betriebskosten außerhalb der Öffnungszeit reduziert, wenn die Beckenbelastung durch die Badegäste nicht mehr gegeben ist. Der Energieverbrauch der Captura Filter ergab sich zu 67 Wh/m³. Der herkömmliche Filter verbraucht 28 % mehr an Strom, wenn dessen Pumpen über Frequenzumrichter verfügen. In der Praxis arbeiten die Filter oft zentral und wälzen das Wasser mehrerer Becken um. In diesem Fall müssen die Teilströme angedrosselt werden. Der Energieverbrauch liegt bei dieser Betriebsart um 40 bis 60 % höher als bei Captura. Die Captura-Module setzen sich aus kleinen standardisierten Filtern zusammen. Bei jedem Filter ist in der Filtratleitung eine ansaugende Pumpe installiert. Die einzelnen Filtratströme werden so über Frequenzumrichter genauestens geregelt. Es wird dabei kein Watt verschwendet und jedes Beckenwasser dezentral entsprechend der Nutzungsart aufbereitet. Die gesamten jährlichen Energieersparnisse gegenüber den Druckfiltern und Drosselregelung betragen mindestens 28 T. €.

Die Umwälzleistung wurde im Nettebad an einer Pilotanlage bewusst unterhalb des DIN Wertes auf 80 und 60 % eingestellt. Selbst der Betrieb bei 60 % hat eine einwandfreie Wasserqualität gewährleistet. Die Reduzierung der gegenwärtigen Umwälzleistung bringt eine zusätzliche Energiekostensenkung um 18. T. €/a mit sich.

6 Nomenklatur

Q	Umwälzleistung	m^3/h
A	Fläche	m^2
k	Belastbarkeitsfaktor	m^3
v	Geschwindigkeit	m/h
P	Leistung	W
E	Energieverbrauch	Wh
K	Kosten	€
t	Zeit	h
V	Volumen	m^3
d_i	Innerer Durchmesser	mm
a	Annuitätsfaktor	a^{-1}
I	Investitionskosten	€
p	Zinssatz	a^{-1}
n	Untersuchungszeitraum	a
m	Nutzungsdauer	a
k_e	Energiepreis	€/kWh
m_e	Mittelwert der Energieverteuerung	-
s_a	jährliche Preissteigerung der Anlagenkomponente	a^{-1}
f	Ersatzbeschaffungsfaktor	-

7 Abkürzungsverzeichnis

KBE	Koloniebildende Einheiten
jährl.	jährlich
mittl.	mittlere
Umwälzl.	Umwälzleistung
Abb.	Abbildung
Gl.	Gleichung
T.	Tausend
geb. Chlor	gebundenes Chlor
Redox-Spann.	Redox-Spannung

8 Indizierungszeichen

spez.	spezifische Größe
e	Energie
R	Rohstoffe (Füllwasser)
A	Abwasser
P	Personal
a	bezogen auf ein Betriebsjahr
d	bezogen auf ein Betriebstag
0	ohne Zuschläge für Preisentwicklung

9 Literaturverzeichnis

- [1] DIN 19643-1, *Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser, Teil 1: Allgemeine Anforderungen*, Beuth Verlag, Berlin, April 1997
- [2] DIN 19643-2, *Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser, Teil 2: Verfahrenskombination: Adsorption – Flockung – Filtration - Chlorung*, Beuth Verlag, Berlin, April 1997
- [3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN-Taschenbuch 12, Wasserversorgung 1*, 9. Auflage, April 1995, Beuth Verlag GmbH
- [4] Deutsche Gesellschaft für das Badewesen e. V., *Funktionsprüfung von Anlagen zur Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser nach DIN 19643: 197-04, Merkblatt 65.04*, Bundesfachverband öffentliche Bäder, Essen, September 1997
- [5] G. Gansloser, U. Hässelbarth, W. Roeske, *Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser, Kommentar zu DIN 19643*, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1. Auflage 1999
- [6] Koordinierungskreis Bäder, *Richtlinien für den Bäderbau*, Deutsche Gesellschaft für das Badewesen, 4. Auflage, Druckerei Wehlmann GmbH, Essen 2002
- [7] Karl Höll, *Wasser*, 7. Auflage, Walter de Gruyter, New York 1986
- [8] Anleitung Praktikum Verfahrenstechnik 2004/2005, FH Osnabrück
- [9] Das Schwimmbad und der Hot-Whirl-Pool, *Das Lovibond®-Handbuch der Schwimmbeckenwasser-Aufbereitung und -Analytik*
- [10] P. Schindler: *Legionellen im Trinkwasser*, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
- [11] Horst Gasper: *Handbuch der industriellen Fest/Flüssig-Filtration*, Hüting Buch Verlag GmbH, Heidelberg, 1990
- [12] Grohmann, Hässelbarth, Schwerdtfeger: *Die Trinkwasserverordnung*, 4. Auflage, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2003
- [13] Till Bethe: *Planungshilfen für Energie und Wasser sparende Maßnahmen in Bädern*, Bundesinstitut für Sportwissenschaft, 1. Auflage, SPORT UND BUCH Strauß GmbH, Köln 2003
- [14] WKN Windkraft Roter Berg: *Beteiligungsangebot*, 2005

- [15] J. Mutschmann, F. Stimmelmayer: *Taschenbuch der Wasserversorgung*, 10. Auflage, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart 1991
- [16] G. Weil: *Verfahren zur Wasseraufbereitung*, Skript zur Vorlesung Wasseraufbereitung
- [17] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)*, 7. Ausgabe, Kulturbuchverlag Berlin GmbH, Berlin 2005
- [18] GSC Research: *GSC Investormeeing mit Sartorius AG*, URL http://pdf.sartoserver.de/investor_relations/GSC_Investorenmeeting_Sartorius_AG.pdf. - Okt.2003 - Dateigröße: 265 KB_mailto: info@gsc-research.de - Düsseldorf
- [19] Aquila Wasseraufbereitungstechnik GmbH: *Informationsunterlagen Captura* ®
- [20] Britta Wehrmut, Alexander Niehaus: *Strömungsuntersuchungen*, Praxissemesterbericht
- [21] R. Pferstorf, H. Kadner: *Chemie, Ein Lehrbuch für Fachhochschulen*, 7. Auflage, Verlag Harri Deutsch, 2000
- [22] J. Behner: *Vortrag im Nettebad Osnabrück zum Thema „Captura-Technik“*, PowerPoint Präsentation Fa. Aquila, November 2005
- [23] *LEG-Formelsammlung*, URL <http://www.avise.de/images/>, - 2005 - Dateigröße: 536 KB,
- [24] *HOAI: Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure*, 5. Fassung, Werner Verlag GmbH, Düsseldorf 2001
- [25] Deutsche Bank: *Megatrend Solarenergie*, URL <http://www.zertifikatjournal.de/content/research/> - Okt. 2005 –Dateigröße: 109 KB
- [26] G. Albrecht-Hoffmeyer: *Zur Wirtschaftlichkeit verschiedener Verfahren der Schwimmbecken-Wasseraufbereitung*, Vortrag beim Kongress in Magdeburg, 2005
- [27] Information bei Herrn Leigraf (Fa. Krawinkel)
- [28] Information bei Herrn Clärding (Fa. Aquila)
- [29] KSB Aktiengesellschaft: *Kreiselpumpen Lexikon*, 3. Auflage, Frankenthal 1989
- [30] Sterling SIHI GmbH: *Grundlagen für die Planung von Kreiselpumpenanlagen*, 7. Auflage, Itzehoe 2000

[31] WALLACE & TIERNAN GmbH: Betriebsanleitung, Mess- und Regeleinrichtung Typ DEPOLOX Pool, IM.050.570DD/Ausg. 6-02/05

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Prinzip der Schwimmbadwasseraufbereitung.....	2
Abb. 2.2: Abtrennung der Schmutzpartikel im Filtermaterial.....	6
Abb. 2.3: Druckverlust und Volumenstrom des Tiefenfilters bei Verblockung	7
Abb. 2.4: Druckverlust und Volumenstrom des Tiefenfilters bei Adsorption	7
Abb. 2.5: Aufbau eines Drucksandfilters	12
Abb. 2.6: Aufbau eines Filtermoduls Captura.....	15
Abb. 2.7: Raumsparereffekt der Captura-Filter [22]	16
Abb. 3.1: Flügelradsonde	26
Abb. 3.2: Markierungsmethoden für Verweilzeitmessungen [8].....	27
Abb. 3.3: Leitfähigkeitssonde	28
Abb. 3.4: Versuchsaufbau im Labor für Verfahrenstechnik für die Strömungsuntersuchungen	30
Abb. 3.5: Aufstellungsplan der Filteranlage für die Strömungsuntersuchungen	32
Abb. 3.6: Fließbild der Filteranlage für die Strömungsuntersuchungen	33
Abb. 3.7: Draufsicht mit markierten Messpunkten.....	34
Abb. 3.8: Strömungssimulation der Strömungsgeschwindigkeit	40
Abb. 3.9: Strömungssimulation der z-Komponente der Strömungsgeschwindigkeit	41
Abb. 3.10: Strömungssimulation der z-Komponente der Strömungsgeschwindigkeit am Düsenaustritt	41
Abb. 3.11: Strömungsgeschwindigkeit in den gemessenen Ebenen	42
Abb. 3.12: x-Komponente der Strömung in den gemessenen Ebenen.....	42
Abb. 3.13: y-Komponente der Strömung in den gemessenen Ebenen.....	43
Abb. 3.14: z-Komponente der Strömung in den gemessenen Ebenen.....	43
Abb. 3.15: Trennung des Granulats	44
Abb. 3.16: Filter mit zusätzlicher Abflussleitung.....	46
Abb. 3.17: Filter mit zusätzlichen Klappen und Abflussleitung.....	46
Abb. 3.18: Verblockung der Aktivkohle	49
Abb. 3.19: Auflösen der Stützschiicht	51
Abb. 3.20: Komplett aufgelöste Stützschiicht.....	51
Abb. 3.21: Captura im Schinkelbad.....	52
Abb. 3.22: gefilmter Druckfilter im Schinkelbad.....	52
Abb. 3.23: Aufbau für die Filmaufnahmen.....	52
Abb. 3.24: Prinzip der Filtration mit einem Druckfilter	53
Abb. 3.25: Absenkung des Wasserspiegels.....	53
Abb. 3.26: Luftspülen des Druckfilters.....	54
Abb. 3.27: Beginn der Wasserspülung beim Druckfilter.....	54
Abb. 3.28: Wasserspülung des Druckfilters	54
Abb. 3.29: Anschließende Filtration des Druckfilters	54
Abb. 3.30: Filtration beim Captura.....	55

Abb. 3.31: Wasserabsenken beim Captura.....	55
Abb. 3.32: Luftspülen beim Captura	55
Abb. 3.33: Wasserspülen beim Captura.....	55
Abb. 3.34: Aufbauskinne des Filters mit den Entnahmestellen a, e und f	59
Abb. 3.35: Entnahmestellen (d) und (e)	59
Abb. 3.36: Entnahmestelle (b) und (c).....	59
Abb. 3.37: Probeentnahmestellen bei einer reduzierten Filterbetthöhe	60
Abb. 4.1: Aktivbecken im Nettebad	76
Abb. 4.2: Verfahrensfließbild zum Kreislauf Aktivbecken im Nettebad	77
Abb. 4.3: Schichtaufbau des Captura 1 mit 2 m ² Filterfläche	78
Abb. 4.4: Schichtaufbau des Captura 2 mit 1 m ² Filterfläche.....	78
Abb. 4.5: magnetisch-induktive Durchflussmesser	79
Abb. 4.6: Dosieranlage für Chlor	80
Abb. 4.7: Mess- und Regeleinrichtung für freies Chlor, Redox-Spannung und pH-Wert.....	80
Abb. 4.8: Marmorkiesturm	80
Abb. 4.9: Färbeversuche im Nettebad.....	81
Abb. 4.10: Probeentnahmestellen im Kreislauf „Aktivbecken“	86
Abb. 4.11: Entnahmestelle 5	87
Abb. 4.12: Entnahmestelle 6	87
Abb. 4.13: Entnahmestellen 8 und 11 im 2 m ² großen Filter	88
Abb. 4.14: Entnahmestellen 9 und 10 im 1 m ² großen Filter	88
Abb. 4.15: Warmbecken im Schinkelbad	99
Abb. 4.16: Verfahrensfließbild zum Kreislauf Warmbecken im Schinkelbad	100
Abb. 4.17: Schwallwasserbehälter, Wärmetauscher, Umwälzpumpen, Haar- und Faserfänger im Kreislauf Warmbecken (Schinkelbad).....	101
Abb. 4.18: Druckfilter Fa. Grünbeck im Schinkelbad	102
Abb. 4.19: Probeentnahmestellen im Kreislauf Warmbecken.....	107
Abb. 4.20: Füllwasserbilanz.....	127
Abb. 4.21: Datenblatt 1 zum Rundfilter Fa. Behncke	143
Abb. 4.22: Datenblatt 2 zum Rundfilter Fa. Behncke	144
Abb. 4.23: Mehrschichtenfilterdatenblatt 1 Fa. Fluidtec	146
Abb. 4.24: Mehrschichtfilterdatenblatt 2 Fa. Fluidtec	147
Abb. 4.25: Energieverbrauch bei Drosselung bzw. Drehzahlregelung der Umwälzpumpen	165

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Standartabmessungen der Captura-Filter	16
Tabelle 3.1: Berechnungswerte laut VDI Wärmeatlas bei 20°C.....	29
Tabelle 3.2: Messwerte bei 44 Hz	36
Tabelle 4.1: Eigenschaften des Füllwassers im Nettebad	83
Tabelle 4.2: Belegung des Aktivbeckens während des Belastungstests am 27.06.05.....	84
Tabelle 4.3: Prüfparameter des Belastungstestes	85
Tabelle 4.4: Filtratwerte am 27.06.05.....	93
Tabelle 4.5: Filterbett des Druckfilters Fa. Grünbeck.....	102
Tabelle 4.6: Umwälzung im Aktiv- und im Warmbecken.....	103
Tabelle 4.7: Umwälzleistung der einzelnen Testphasen.....	104
Tabelle 4.8: Extinktion der Beckenwasserproben bei 300 nm bezogen auf das Brunnenwasser als Nulllösung	116
Tabelle 4.9: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung im Aktivbecken (Nettebad).....	118
Tabelle 4.10: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung im Warmbecken (Schinkelbad).....	118
Tabelle 4.11: THM und Oxidierbarkeit im Beckenwasser bei 60 Umwälzleistung	119
Tabelle 4.12: Energieverbrauch der Filteranlage Captura im Kreislauf „Aktivbecken“	120
Tabelle 4.13: Kreisläufe des Nettebads	123
Tabelle 4.14: Energieverbrauch und Energiekosten der Captura-Filter im Nettebad	124
Tabelle 4.15: Wasserkosten im Kreislauf „Aktivbecken“ (Nettebad).....	130
Tabelle 4.16: Kreisläufe des Nettebads	130
Tabelle 4.17: Wasserkosten im gesamten Nettebad	131
Tabelle 4.18: Wasserkosten im Kreislauf „Warmbecken“ (Schinkelbad)	132
Tabelle 4.19: Leistungsverzeichnis	141
Tabelle 4.20: Angebot Fa. Behnke.....	142
Tabelle 4.21: Angebot Fa. Fluidtec	145
Tabelle 4.22: Angebot einer Captura-Filteranlage der Fa. Aquila.....	148
Tabelle 4.23: Angebot der Fa. Aquila für Rohrleitung	148
Tabelle 4.24: Abschreibungskosten.....	152
Tabelle 4.25: Angaben zum Spülprogramm eines Captura-Filters	156
Tabelle 4.26: Kostengegenüberstellung für die Filteranlage im Kreislauf „Aktivbecken“	162
Tabelle 4.27: Filtratmenge im Nettebad	166
Tabelle 4.28: Leistungsaufnahme der Captura-Anlage in Hinsicht auf Ähnlichkeitsbeziehungen.....	167
Tabelle 4.29: jährliche Kosten der Filteranlagen im gesamten Nettebad	170
Tabelle 14.1: Messdaten vom 24.01.05	191
Tabelle 14.2: Messdaten vom 28.01.05	192
Tabelle 14.3: Messdaten vom 31.01.05	192
Tabelle 14.4: Messdaten vom 03.02.05	192
Tabelle 14.5: Messdaten vom 07.02.05	194

Tabelle 14.6: Messdaten vom 11.02.05	194
Tabelle 14.7: Messdaten vom 14.02.05	195
Tabelle 14.8: Schlammwasserwerte (Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h	195
Tabelle 14.9: Messdaten vom 11.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoksschicht ...	196
Tabelle 14.10: Messdaten vom 15.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoksschicht .	197
Tabelle 14.11: Messdaten vom 18.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoksschicht .	198
Tabelle 14.12: Messdaten vom 22.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoksschicht .	199
Tabelle 14.13: Messdaten vom 25.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoksschicht .	200
Tabelle 14.14: Messdaten vom 29.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoksschicht .	201
Tabelle 14.15: Besucher im Nettebad am Montag, den 20.06.05.....	202
Tabelle 14.16: Besucher am Dienstag, den 21.06.05	202
Tabelle 14.17: Besucher am Mittwoch, den 22.06.05	203
Tabelle 14.18: Besucher am Donnerstag, den 23.06.05.....	203
Tabelle 14.19: Besucher am Freitag, den 24.06.05	204
Tabelle 14.20: Besucher am Samstag, den 25.06.05	204
Tabelle 14.21: Besucher am Sonntag, den 26.06.05.....	205
Tabelle 14.22: Besucher am Montag, den 27.06.05	205
Tabelle 14.23: Besucher am Dienstag, den 28.06.05	206
Tabelle 14.24: Besucher am Mittwoch, den 29.06.05	206
Tabelle 14.25: Besucher am Donnerstag, den 30.06.05.....	207
Tabelle 14.26: Besucher am Freitag, den 01.06.05	207
Tabelle 14.27: Besucher am Samstag, den 02.07.05	208
Tabelle 14.28: Besucher am Sonntag, den 03.07.05.....	208
Tabelle 14.29: freies Chlor	209
Tabelle 14.30: gebundenes Chlor	210
Tabelle 14.31: Säurekapazität.....	210
Tabelle 14.32: pH-Wert	211
Tabelle 14.33: Redox-Spannung.....	211
Tabelle 14.34: Aluminium, o-Phosphate	211
Tabelle 14.35: mikrobiologische Parameter des Reinwassers	211
Tabelle 14.36: Messwerte im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bei 100 % Umwälzleistung	212
Tabelle 14.37: Messwerte im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bei 80 % Umwälzleistung	214
Tabelle 14.38: Messwerte im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bei 60 % Umwälzleistung	216
Tabelle 14.39: Messwerte im Kreislauf Warmbecken (Schinkelbad).....	218

12 Diagrammverzeichnis

Diagramm 2.1: Anteile der unterchlorigen Säure bei verschiedenen pH-Werten [15]	9
Diagramm 3.1: Ergebnisse der LF-Messung auf Höhe von 0,45 m	37
Diagramm 3.2: Ergebnisse der LF-Messung auf Höhe von 0,85 m	37
Diagramm 3.3: Ergebnisse der LF-Messung auf Höhe von 1,25 m	38
Diagramm 3.4: interpolierte Geschwindigkeitsverteilung auf Höhe von 0,45 m	38
Diagramm 3.5: interpolierte Geschwindigkeitsverteilung auf Höhe von 0,85 m	39
Diagramm 3.6: interpolierte Geschwindigkeitsverteilung auf Höhe von 1,25 m	39
Diagramm 3.7: Strömung im Querschnitt (X-Mittelachse)	47
Diagramm 3.8: Strömung im Querschnitt (Y-Mittelachse)	48
Diagramm 3.9: Hygiene-Hilfsparameter im Babybecken beim Betrieb mit 100% Filterbetthöhe	62
Diagramm 3.10: pH-Wert im Babybecken während der Versuche mit 100% Filterbetthöhe	63
Diagramm 3.11: exemplarischer Temperaturverlauf während des Spülvorgangs (24.01.05)	64
Diagramm 3.12: freies Chlor beim Filterbetrieb mit 100% Filterbetthöhe	65
Diagramm 3.13: Verhalten des frei. Chlorgehalts vor und nach dem Spülen am 24.01.05	65
Diagramm 3.14: gebundenes Chlor beim Filterbetrieb mit 100% Filterbetthöhe	66
Diagramm 3.15: gebundenes Chlor vor und nach dem Spülen am 24.01.05	67
Diagramm 3.16: Verhalten der Trübung an der Entnahmestelle f während des Spülvorgangs	67
Diagramm 3.17: Entwicklung des KBE 36°C-Wertes im Laufe des Spülvorgangs an der Entnahmestelle f	68
Diagramm 3.18: Verhalten der Trübung an der Entnahmestelle f während des Spülvorganges bei 75% DIN-Filterbetthöhe	69
Diagramm 3.19: freies Chlor beim Filterbetrieb mit 75 % Filterbetthöhe	70
Diagramm 3.20: gebundenes Chlor beim Filterbetrieb mit 75 % Filterbetthöhe	71
Diagramm 3.21: Mikrobiologische Belastung des Captura vor und nach der Spülung	71
Diagramm 3.22: Mikrobiologische an der Entnahmestelle e	72
Diagramm 4.1: tägliche Besucherzahl im Aktivbecken	82
Diagramm 4.2: gebundenes Chlor im Aktivbecken während des Belastungstests	89
Diagramm 4.3: freies Chlor im Aktivbecken während des Belastungstests	90
Diagramm 4.4: pH-Wert im Aktivbecken während des Belastungstests	91
Diagramm 4.5: Redox-Spannung im Aktivbecken während des Belastungstests	91
Diagramm 4.6: Säurekapazität im Aktivbecken während des Belastungstests	92
Diagramm 4.7: Oxidierbarkeit der Filtratproben	94
Diagramm 4.8: gebundenes Chlor im Filtrat während des Belastungstests	95
Diagramm 4.9: Trihalogenmethane in Filtratproben	96
Diagramm 4.10: Freies Chlor im Reinwasser	97
Diagramm 4.11: Energieverbrauch der Captura-Filter im Kreislauf Aktivbecken	108
Diagramm 4.12: Füllwasserverbrauch im Kreislauf Aktivbecken	109
Diagramm 4.13: Füllwasserzusatz im Kreislauf Warmbecken	109

Diagramm 4.14: Freies Chlor im Aktivbecken	110
Diagramm 4.15: Freies Chlor im Warmbecken	110
Diagramm 4.16: gebundenes Chlor im Aktivbecken	111
Diagramm 4.17: gebundenes Chlor im Warmbecken	111
Diagramm 4.18: pH-Wert-Verlauf im Aktivbecken.....	112
Diagramm 4.19: pH-Wert-Verlauf im Warmbecken.....	112
Diagramm 4.20: Redox-Spannung im Aktivbecken	113
Diagramm 4.21: Redox-Spannung im Warmbecken.....	113
Diagramm 4.22: Besucherzahlen im Nettebad.....	114
Diagramm 4.23: Besucherzahlen des Warmbeckens	115
Diagramm 4.24: jährlicher Energieverbrauch der Filteranlage Captura beim Umwälzbetrieb	122
Diagramm 4.25: Energieverbrauch des Druckfilters im Vergleich zu Filteranlage Captura	126
Diagramm 4.26: Wasserverbrauch.....	133
Diagramm 4.27: spez. Wasserverbrauch für die Filterspülung	133
Diagramm 4.28: KBE im Wasser des Aktivbeckens und des Warmbeckens	136
Diagramm 4.29: Trübung im Aktivbecken	137
Diagramm 4.30: Füllwasserzusatz pro Badegast im Warmbecken.....	139

13 Anhang

13.1 *Fließschema zum Kreislauf „Aktivbecken“*

13.2 Ergebnisse der Spülungsuntersuchungen beim Filterbetrieb mit 100 % Filterbetthöhe

Datum	Uhrzeit	Betriebszeit [h]	fr. Chlor [mg/l]	geb. Chlor [mg/l]	Redoxspan. [mV]	pH-Wert [-]
14.01.2005	06:00	0	0,64	0,04	817	7,30
	12:00	6	0,37	0,04		
	21:00	15	0,76	0,12	801	7,38
15.01.2005	06:00	24	0,71	0,02	799	7,30
	12:00	30	0,54	0,1		
	21:00	39	0,41	0,09	757	7,54
16.01.2005	06:00	48	0,44	0,06	807	7,41
	12:00	54	0,41	0,11		
	21:00	63	0,28	0,14	753	7,28
17.01.2005	06:00	72	0,44	0,09	815	7,02
	12:00	78	0,28	0,11		
	21:00	87	0,64	0	796	7,42
18.01.2005	06:00	96	0,65	0,03	800	7,42
	12:00	102	0,6	0,06		
	21:00	111	0,27	0,17	788	7,24
19.01.2005	06:00	120	0,27	0,11	724	7,24
	12:00	126	0,32	0,12		
	21:00	135	0,28	0,13	792	7,14
20.01.2005	06:00	144	0,63	0,06	811	7,14
	12:00	150	0,66	0,1		
	21:00	159	0,43	0,07	837	7,16
21.01.2005	06:00	168	0,65	0,05	846	7,30
	12:00	174	0,53	0,12		
	21:00	183	0,53	0,1	820	7,11
22.01.2005	06:00	192	0,58	0,1	844	6,98
	12:00	198	0,65	0,19		
	21:00	207	0,54	0,21	818	6,89
23.01.2005	06:00	216	0,59	0,09	840	7,13
	12:00	222	0,81	0,19		
	21:00	231	0,47	0,19	840	6,87
24.01.2005	06:00	240	0,62	0,05	796	7,59
	12:00	246	0,51	0,19		
	21:00	255	0,83	0,16	807	7,49
25.01.2005	06:00	264	0,72	0,09	806	7,54
	12:00	270	0,62	0,07		
	21:00	279	0,59	0,04	797	7,57
26.01.2005	06:00	288	0,63	0,11	772	7,14
	12:00	294	0,68	0,13		
	21:00	303	0,61	0,12	811	7,50
27.01.2005	06:00	312	0,48	0,07	796	7,39
	12:00	318	0,58	0,03		
	21:00	327	0,65	0,12	809	7,28
28.01.2005	06:00	336	0,66	0,05	806	7,57
	12:00	342	0,57	0,12		
	21:00	351	0,43	0,1	796	7,20
29.01.2005	06:00	357	0,33	0,06	811	7,12
	12:00	366	0,36	0,14		

	21:00	375	0,3	0,19	793	7,05
30.01.2005	06:00	381	0,64	0,03	809	7,06
	12:00	390	0,36	0,14		
	21:00	399	0,13	0,21	795	
31.01.2005	06:00	405	0,37	0,04	790	7,42
	12:00	414	0,43	0,06		
	21:00	423	0,42	0,01	779	7,53
01.02.2005	06:00	429	0,43	0,04	768	7,74
	12:00	438	0,78	0,09		
	21:00	447	0,68	0,11	757	7,61
02.02.2005	06:00	456	0,35	0,02	773	7,61
	12:00	462	0,48	0,14		
	21:00	471	0,59	0,21	792	7,17
03.02.2005	06:00	480	0,36	0,03	802	7,34
	12:00	486	0,5	0,06		
	21:00	495	0,18	0,09	799	7,23
04.02.2005	06:00	504	0,3	0,05	814	7,25
	12:00	510	0,58	0,07		
	21:00	519	0,24	0,1	777	7,21
05.02.2005	06:00	528	0,6	0,13	804	7,12
	12:00	534	0,59	0,12		
	21:00	543	0,58	0,1	776	7,08
06.02.2005	06:00	552	0,47	0,11	798	7,35
	12:00	558	0,51	0,09		
	21:00	567	0,39	0,07	755	7,24

Tabelle 13.1: Messdaten vom 24.01.05

Probenentnahme vom 24.01.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 72h; Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 240105 a	0,030	37,1	7,47	0,6	0,09	0,69	796	2	8	0	0
V 240105 b	0,029	35,4	7,45	0,09	0,07	0,16	n.g. ¹	4	36	0	0
V 240105 c	0,011	35,4	7,43	0,2	0,4	0,6	n.g.	2	10	0	0
V 240105 d	0,010	35,6	7,43	0,1	0,1	0,2	n.g.	2	48	0	0
V 240105 e	0,007	36,1	7,5	0	0,03	0,03	n.g.	49	256	0	0
B 240105 b	0,028	33,6						4	82	0	0
B 240105 c	0,018	31,3						2	18	0	0
B 240105 d	0,013	31,2						2	26	0	0
B 240105 e	0,014	30,8						0	16	0	0
N 240105 a	0,008	31,8	7,37	0,39	0,24	0,63	807	0	4	0	0
N 240105 b	0,006	28,3	7,52	0,01	0,05	0,06	n.g.	2	32	0	0
N 240105 c	0,004	28,2	7,52	0	0,03	0,03	n.g.	2	22	0	0
N 240105 d	0,003	28,5	7,53	0,01	0,02	0,03	n.g.	2	42	0	0
N 240105 e	0,001	28,1	7,52	0	0,01	0,01	n.g.	2	54	0	0

¹: n.g. → nicht gemessen

Tabelle 13.2: Messdaten vom 28.01.05

Probenentnahme vom 28.01.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 94h; Spülvolumen = 2m³; Volumenstrom = 50m³/h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 280105 a	0,001	35,5	7,47	0,88	0,04	0,92	806	2	0	0	0
V 280105 b	-0,002	34,6	7,5	0,14	0,13	0,27	n.g.	2	6	0	0
V 280105 c	-0,004	34,4	7,5	0,02	0,06	0,08	n.g.	0	8	0	0
V 280105 d	-0,001	32,2	7,49	0,01	0,04	0,05	n.g.	0	18	0	0
V 280105 e	-0,006	35	7,53	0,04	0,04	0,08	n.g.	2	16	0	0
B 280105 b	0,693	32,3						2	212	0	0
B 280105 c	0,007	31,6						0	6	0	0
B 280105 d	-0,003	31,3						0	32	0	0
B 280105 e	-0,002	31,5						2	28	0	0
N 280105 a	-0,008	30,9	7,48				796	2	16	0	0
N 280105 b	-0,008	27,6	7,59	0,07	0,01	0,08	n.g.	0	12	0	0
N 280105 c	-0,009	27,6	7,54	n.m.	n.m.	n.m.	n.g.	0	14	0	0
N 280105 d	-0,01	27,4	7,54	n.m.	n.m.	n.m.	n.g.	2	16	0	0
N 280105 e	-0,007	27,3	7,55	0,03	0	0,03	n.g.	0	14	0	0

Tabelle 13.3: Messdaten vom 31.01.05

Probenentnahme vom 31.01.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 72h Spülvolumen = 2m³; Volumenstrom = 50m³/h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 310105 a	0,003	36,5		0,67	0,08	0,75	790	0	2	0	0
V 310105 b	0,007	34,6		0,01	0,05	0,06	n.g.	2	64	0	0
V 310105 c	0,011	34,9		n.m	n.m.	n.m. ²	n.g.	2	46	0	0
V 310105 d	0,008	35,1		0	0,01	0,01	n.g.	4	80	0	0
V 310105 e	0,006	35,1		0,01	0,03	0,04	n.g.	2	88	0	0
B 310105 b	0,021	31,1						2	122	0	0
B 310105 c	0,016	29,6						0	8	0	0
B 310105 d	0,01	29,3						2	6	0	0
B 310105 e	0,005	29,2						0	6	0	0
N 310105 a	-0,004	29,3	7,27	0,2	0,27	0,47	779	0	4	0	0
N 310105 b	-0,003	25,6	7,38	n.m	n.m.	n.m.	n.g.	2	2	0	0
N 310105 c	-0,005	26,2	7,4	0	0,01	0,01	n.g.	0	10	0	0
N 310105 d	-0,005	26,1	7,47	0	0,01	0,01	n.g.	4	44	0	0
N 310105 e	-0,007	26,6	7,45	0	0,02	0,02	n.g.	0	38	0	0

Tabelle 13.4: Messdaten vom 03.02.05

²: n.m. → nicht messbar

Probenentnahme vom 03.02.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 72h; Spülvolumen = 2m³; Volumenstrom = 50m³/h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 030205 a	0	34,8	6,94	0,65	0,06	0,71	809	2	0	0	0
V 030205 b	0,003	33,4	6,92	0	0,04	0,04	n.g.	0	24	0	0
V 030205 c	0	32,9	6,96	0	0	0	n.g.	2	20	0	0
V 030205 d	0	33,1	6,98	0	0	0	n.g.	4	82	0	0
V 030205 e	-0,004	33,1	7,05	0,01	0,02	0,03	n.g.	2	80	0	0
B 030205 b	0,01	32,1						4	84	0	0
B 030205 c	0,019	30,8						0	4	0	0
B 030205 d	0,01	30						0	4	0	0
B 030205 e	0,012	30						4	176	nachg.	0
N 030205 a	-0,012	29,6	7,15	0,56	0,1	0,66	784	0	0	0	0
N 030205 b	-0,01	25,9	7,33	0	0,06	0,06	n.g.	0	14	0	0
N 030205 c	-0,013	25,7	7,32	0,01	0,02	0,03	n.g.	0	22	0	0
N 030205 d	-0,016	25,6	7,31	0	0,01	0,01	n.g.	2	28	0	0
N 030205 e	-0,019	26	7,28	0	0	0	n.g.	4	62	0	0

Tabelle 13.5: Messdaten vom 07.02.05

Probenentnahme vom 07.02.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 94h; Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 070205 a	-0,001	37,8	7,11	0,49	0,11	0,6	793	0	8	0	0
V 070205 b	-0,001	35,7	7,2	0	0,04	0,04	n.g.	6	28	0	0
V 070205 c	0,001	35,5	7,19	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	0	44	0	0
V 070205 d	-0,003	36,7	7,21	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	8	82	0	0
V 070205 e	-0,005	36,8	7,24	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	4	112	0	0
B 070205 b	0,017	32,8						2	68	0	0
B 070205 c	0,014	31,7						0	22	0	0
B 070205 d	0,006	31,5						0	8	0	0
B 070205 e	0,002	30,9						0	6	0	0
N 070205 a	-0,009	31,8	7,23	0,78	0,09	0,87	770	0	12	0	0
N 070205 b	-0,01	27,5	7,12	0,01	0,08	0,09	n.g.	0	36	0	0
N 070205 c	-0,011	27,3	7,39	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	2	16	0	0
N 070205d	-0,014	27,7	7,49	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	2	62	0	0
N 070205 e	-0,015	27,5	7,42	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	4	42	0	0

Tabelle 13.6: Messdaten vom 11.02.05

Probenentnahme vom 11.02.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 94h; Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 110205 a	-0,008	36	7,07	0,7	0,1	0,8	789	2	12	0	0
V 110205 b	-0,013	33,9	7,15	0,02	0,03	0,05	n.g.	0	38	0	0
V 110205 c	-0,014	33,7	7,12	0	0,01	0,01	n.g.	0	26	0	0
V 110205 d	-0,013	32,5	7,11	0	0,01	0,01	n.g.	6	64	0	0
V 110205 e	-0,015	33,3	7,06	0	0,02	0,02	n.g.	8	104	0	0
B 110205 b	0,004	31,1						2	32	0	0
B 110205 c	0,004	28,8						2	18	0	0
B 110205 d	-0,004	28,4						2	12	0	0
B 110205 e	-0,001	28,8						0	28	0	0
N 110205 a	0	29,7		1,43	0	1,43	810	0	4	0	0
N 110205 b	-0,003	26,3		0,03	0,04	0,07	n.g.	0	24	0	0
N 110205 c	-0,008	26		0	0	0	n.g.	0	6	0	0
N 110205 d	-0,011	26,5		0	0	0	n.g.	0	16	0	0
N 110205 e	-0,009	26,1		0	0,02	0,02	n.g.	2	16	0	0

Tabelle 13.7: Messdaten vom 14.02.05

Probenentnahme vom 14.02.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 72h; Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 140205 a	0,015	34,7	7,09	0,02	0,15	0,17	804	8	14	0	0
V 140205 b	0,012	34,7	7,09	0,02	0,07	0,09	n.g.	20	46	0	0
V 140205 c	0,011	34,9	7,04	0	0,02	0,02	n.g.	26	52	0	0
V 140205 d	0,012	35,2	7,01	0	0	0	n.g.	44	104	0	0
V 140205 e	0,008	34,5	7,1	0	0,02	0,02	n.g.	46	98	0	0
B 140205 b	0,027	33,1						16	34	0	0
B 140205 c	0,027	32,2						6	8	0	0
B 140205 d	0,021	31,2						6	12	0	0
B 140205 e	0,022	31,3						4	24	0	0
N 140205 a	0,005	30,3	7,17	1,09	0,21	1,3	814	20	8	0	0
N 140205 b	0	28	7,34	0,05	0,06	0,11	n.g.	32	12	0	0
N 140205 c	0,008	28,9	7,34	0,01	0,04	0,05	n.g.	4	14	0	0
N 140205 d	0	28,5	7,34	0	0,01	0,01	n.g.	8	12	0	0
N 140205 e	0,001	28,4	7,27	0	0	0	n.g.	4	16	0	0

Tabelle 13.8: Schlammwasserwerte (Spülvolumen = 2m³; Volumenstrom = 50m³/h)

Probe	Datum	Betriebszeit nach der letz- ten Spülung	Chemische Parameter		Mikrobiologische Parameter			
			Trübung [300nm]	Tempera- tur	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E Coli
			[h]	[-]	[°C]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]
B 240105 f A	24.01.05	72	0,985	35,6	24	448	0	0
B 240105 f M			0,154	35,0	18	496	0	0
B 240105 f E			0,02	31,7	4	16	0	0
B 280105 f A	28.01.05	94	0,794	33,7	4	112	0	0
B 280105 f M			0,039	34,2	4	56	0	0
B 280105 f E			0,008	33,1	0	32	0	0
B 310105 f A	31.01.05	72	0,53	34,7	2	246	0	0
B 310105 f M			0,04	33,5	4	186	0	0
B 310105 f E			0,009	29,7	0	8	0	0
B 030205 f A	03.02.05	72	0,341	34	6	264	0	0
B 030205 f M			0,058	33,8	10	544	0	0
B 030205 f E			0,011	31,3	0	16	nachg.	0
B 070205 f A	07.02.05	94	0,44	35,2	8	1104	1	1
B 070205 f M			0,17	35,6	16	1184	1	1
B 070205 f E			0,006	32,4	2	36	0	0
B 110205 f A	11.02.05	94	0,217	35,4	76	264	1	1
B 110205 f M			0,015	34,1	48	476	1	1
B 110205 f E			-0,005	29,3	4	34	1	1
B 140205 f A	14.02.05	72	0,425	34,1	4000	622	0	0
B 140205 f M			0,077	34,8	1040	728	0	0
B 140205 f E			0,016	32,8	42	64	0	0

13.3 Ergebnisse der Spülungsuntersuchungen beim Filterbetrieb mit 75 % Filterbetthöhe

Tabelle 13.9: Messdaten vom 11.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoks-
schicht

Probenentnahme vom 11.04.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 72h Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 110405 a	0,001		6,93	0,59	0,08	0,67	806	2	4	0	0
V 110405 b 25			7,26	0,29	0,67	0,96		0	2	0	0
V 110405 b 0								2	194	1	0
V 110405 c								4	88	0	0
V 110405 d											
V 110405 e											
B 110405 b 25	0,051						808	0	16	0	0
B 110405 b 0	0,047							2	14	0	0
B 110405 c	0,023							0	6	0	0
B 110405 d	0,003							0	22	0	0
B 110405 e	0,022							32	228	0	0
B 110405 f A	0,093							10	138	0	0
B 110405 f M	0,102							2	146	0	0
B 110405 f E	0,018							2	56	0	0
N 110405 a	-0,005		7,42	0,47	0,08	0,55	795	4	8	0	0
N 110405 b 25	0,013		7,58	0	0,06	0,06		0	2	0	0
N 110405 b 0	0,011		7,49	0,03	0,06	0,09		2	0	0	0
N 110405 c	-0,001		7,42	0	0	0		2	2	0	0
N 110405 d	-0,004		7,35	0	0,06	0,06		0	0	0	0
N 110405 e	-0,005		7,49	0	0,06	0,06		8	176	0	0

Tabelle 13.10: Messdaten vom 15.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoks-schicht

Probenentnahme vom 15.04.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 96h											
Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 150405 a	-0,006	34,3	6,97	0,78	0,05	0,83	798	0	8	0	0
V 150405 b 25	-0,005	33,8	7,24	0	0	0		0	62	0	0
V 150405 b 0	-0,009	33,8	7,18	0,02	0,02	0,04		6	64	0	0
V 150405 c	-0,01	34,6	7	0	0	0		2	38	0	0
V 150405 d	-0,014	34,4	7,05	0	0,02	0,02		2	72	0	0
V 150405 e	-0,011	34,4	7,03	0	0,03	0,03		34	720	0	0
B 150405 b 25	0,002	31,8					795	4	44	0	0
B 150405 b 0	0,042	31,4						2	480	0	0
B 150405 c	0,004	31,4						6	864	0	0
B 150405 d	-0,008	31,6						4	176	0	0
B 150405 e	-0,011	31,4						10	160	0	0
B 150405 f A	0,129	35						14	2600	0	0
B 150405 f M	0,085	35						2	2400	1	0
B 150405 f E	0,005	32,2						4	448	0	0
N 150405 a	-0,016	29,5	7,26	1,45	0	1,45	802	2	24	0	0
N 150405 b 25	-0,017	26,4	7,26	0	0,01	0,01		2	42	0	0
N 150405 b 0	-0,018	26,4	7,43	0	0,06	0,06		0	32	0	0
N 150405 c	-0,02	26,2	7,3	0	0,05	0,05		6	10	0	0
N 150405 d	-0,023	26,4	7,13	0,08	0	0,08		8	4	0	0
N 150405 e	-0,022	26,5	7,31	0,03	0,02	0,05		6	30	0	0

Tabelle 13.11: Messdaten vom 18.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoks-schicht

Probenentnahme vom 18.04.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 72h; Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 180405 a	-0,006	34,5	6,88	1,21	0,04	1,25	796	4	52	0	0
V 180405 b 25	0,002	30,5	7,5	0	0,02	0,02		4	4200	0	0
V 180405 b 0	0	30,5	7,24	0,01	0,03	0,04		16	4800	0	0
V 180405 c	-0,007	32,5	7,04	0	0,02	0,02		4	72	0	0
V 180405 d	-0,009	32,8	6,98	0	0	0		8	8	0	0
V 180405 e	-0,01	32,6	7,12	0	0,03	0,03		4	10	0	0
B 180405 b 25	-0,001	33,2					803	0	1152	0	0
B 180405 b 0	-0,011	33,2						0	406	0	0
B 180405 c	0,003	33,2						4	360	0	0
B 180405 d	-0,01	33,1						0	110	0	0
B 180405 e	-0,01	32,9						0	44	0	0
B 180405 f A	0,145	33,9						16	680	0	0
B 180405 f M	0,087	34						14	1840	0	0
B 180405 f E	0,008	33,1						4	440	0	0
N 180405 a	-0,013	29,6	7,28	1,29	0,13	1,42	798	12	12	0	0
N 180405 b 25	-0,012		7,74	0	0	0		0	520	0	0
N 180405 b 0	-0,009		7,65	0	0	0		6	162	0	0
N 180405 c	-0,017	26,7	7,38	0	0	0		0	48	0	0
N 180405 d	-0,016	27	7,3	0	0,06	0,06		0	6	0	0
N 180405 e	-0,019	27	7,3	0	0,06	0,06		12	148	0	0

Tabelle 13.12: Messdaten vom 22.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoks-schicht

Probenentnahme vom 22.04.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 96h; Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 220405 a	-0,009	34,6	7,16	0,41	0,14	0,55	799	0	0	0	0
V 220405 b 25	-0,005	33	7,45	0	0	0		0	94	0	0
V 220405 b 0	-0,009	32,8	7,34	0	0	0		0	798	0	0
V 220405 c	0,006	32,8	7,11	0,05	0,11	0,16		0	0	0	0
V 220405 d	-0,012	34,1	7,17	0	0,02	0,02		0	6	0	0
V 220405 e	-0,011	34,5	7,15	0	0,04	0,04		0	172	0	0
B 220405 b 25	-0,006							0	0	0	0
B 220405 b 0	-0,001							0	10	0	0
B 220405 c	0,005	32,5						90	12	0	0
B 220405 d	-0,011	32,4						0	0	0	0
B 220405 e	-0,011	31,9						0	0	0	0
B 220405 f A	0,122	34,7						38	42	0	0
B 220405 f M	0,065	34,4						12	42	0	0
B 220405 f E	0,006	33,1						0	4	0	0
N 220405 a	-0,014	28,2	7,35	1,07	0,08	1,15	801	0	0	0	0
N 220405 b 25	-0,007		7,70	0,02	0,08	0,1		0	26	0	0
N 220405 b 0	-0,011		7,38	0	0	0		0	12	0	0
N 220405 c	-0,015	27,9	7,34	0,11	0,08	0,01 9		0	0	0	0
N 220405 d	-0,012	27,6	7,34	0,05	0,06	0,11		0	0	0	0
N 220405 e	-0,018	27,5	7,36	0,02	0,09	0,11		0	0	0	0

Tabelle 13.13: Messdaten vom 25.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoks-schicht

Probenentnahme vom 25.04.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 72h; Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 250405 a	-0,004	34,9	6,93	0,63	0,15	0,78	808	0	4	0	0
V 250405 b 25	-0,008	34,8	7,1	0	0,01	0,01		10	2900	0	0
V 250405 b 0	-0,006	34,7	7,18	0	0	0		6	2500	0	0
V 250405 c	-0,009	34,7	6,95	0	0	0		4	42	0	0
V 250405 d	-0,009	35,2	6,95	0	0,04	0,04		2	208	0	0
V 250405 e	-0,008	34,9	6,9	0	0,04	0,04		2	376	0	0
B 250405 b 25	-0,02						812	8	576	0	0
B 250405 b 0	0,15							0	1380	0	0
B 250405 c	0,006	30,3						8	54	0	0
B 250405 d	-0,011	30,5						0	36	0	0
B 250405 e	-0,008	29,4						4	60	0	0
B 250405 f A	0,107	35,1						18	1248	0	0
B 250405 f M	0,069	35,1						10	192	1	1
B 250405 f E	0,004	31						2	40	0	0
N 250405 a	-0,012	30,5	7,21	1,21	0,09	1,3	804	4	4	0	0
N 250405 b 25	-0,013	26,5	7,68	0	0	0		6	320	0	0
N 250405 b 0	-0,016	26,5	7,35	0	0,02	0,02		10	448	0	0
N 250405 c	-0,018	27	7,22	0,09	0,06	0,15		0	4	0	0
N 250405 d	-0,016	27	7,38	0,02	0,04	0,06		6	8	0	0
N 250405 e	-0,011	26,9	7,29	0	0,05	0,05		0	18	0	0

Tabelle 13.14: Messdaten vom 29.04.05 beim Filterbetrieb mit reduzierter Braunkohlekoks-schicht

Probenentnahme vom 29.04.05; Betriebszeit nach der letzten Spülung 96h; Spülvolumen = 2m ³ ; Volumenstrom = 50m ³ /h											
Probe	Chemische Parameter							Mikrobiologische Parameter			
	Trübung (300nm)	Temp.	pH- Wert	frei. Cl	geb. Cl	ges. Cl	Redox- spann.	KBE 20°C	KBE 36°C	Colif. Keime	E. Coli
	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]			[mV]	[KBE/ml]		[KBE/100 ml]	
V 290405 a	0,003	34,7	7,01	0,87	0,04	0,91	798	2	2	0	0
V 290405 b 25	0,004	34,7	7,45	0	0	0		4	3000	0	0
V 290405 b 0	0,017	34,7	7,24	0,02	0	0,02		0	1400	0	0
V 290405 c	-0,002	34,7	7,14	0,05	0,04	0,09		0	28	0	0
V 290405 d	-0,006	34,2	7,1	0,03	0,05	0,08		0	120	0	0
V 290405 e	-0,003	34,6	7,15	0,02	0,04	0,06		0	60	0	0
B 290405 b 25	0,003						753	0	352	0	0
B 290405 b 0	0,007							0	62	0	0
B 290405 c	0,018	33,3						2	14	0	0
B 290405 d	0,011	33,2						4	14	0	0
B 290405 e	0,01	33,1						0	12	0	0
B 290405 f A	0,127	34,7						8	400	0	0
B 290405 f M	0,079	34,5						12	240	0	0
B 290405 f E	0,024	33,8						2	4	0	0
N 290405 a	0,008	29,5	7,21	1,03	0,08	1,11	791	0	2	0	0
N 290405 b 25	0,01	26,7	7,78	0,02	0,01	0,03		0	176	0	0
N 290405 b 0	0,016	26,7	7,64	0,01	0	0,01		0	8	0	0
N 290405 c	0,005	27,5	7,37	0,12	0,06	0,18		0	0	0	0
N 290405 d	0,004	27,4	7,33	0,02	0,05	0,07		0	2	0	0
N 290405 e	0,001	27,3	7,31	0,02	0,09	0,11		2	38	0	0

13.4 Aufnahme der Besucherzahlen

Tabelle 13.15: Besucher im Nettebad am Montag, den 20.06.05

Uhrzeit	Schwimm- becken	Aktiv- becken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	27				
08:00	13				
09:00	29	1	0	0	2
10:00	25	0	2	3	10
11:00	15	0	4	0	11
12:00	21	2	4	1	15
13:00	28	2	2	0	8
14:00	40	10	2	1	14
15:00	31	12	2	4	29
16:00	24	-	3	3	52
17:00	70	10	15	17	85
18:00	75	9	14	14	90
19:00	60	10	6	3	70
20:00	56	4	8	8	58
21:00	23	0	4	9	22
Summe	537	60	66	63	466

Tabelle 13.16: Besucher am Dienstag, den 21.06.05

Uhrzeit	Schwimm- becken	Aktiv- becken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	13				
08:00	57				
09:00	29	14	3	0	12
10:00	34	15	5	2	8
11:00	60	12	4	2	7
12:00	19	0	3	2	10
13:00	12	0	0	3	14
14:00	28	10	2	3	43
15:00	4	11	7	4	15
16:00	16	0	8	5	50
17:00	78	16	8	8	52
18:00	48	16	5	7	45
19:00	64	14	4	6	26
20:00	58	16	6	5	22
21:00	23	2	5	7	14
Summe	543	126	60	54	318

Tabelle 13.17: Besucher am Mittwoch, den 22.06.05

Uhrzeit	Schwimm- becken	Aktiv- becken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	18				
08:00	6				
09:00	4	0	0	0	2
10:00	4	0	5	0	8
11:00	29	0	2	2	2
12:00	2	0	3	5	6
13:00	5	0	7	5	12
14:00	8	0	2	2	12
16:00	63	9	9	7	0
17:00	56	12	12	8	41
18:00	51	10	6	10	39
19:00	42	7	3	4	35
20:00	45	7	4	4	30
21:00	33	3	5	4	12
22:00	9	1	3	4	17
Summe	375	49	61	55	216

Tabelle 13.18: Besucher am Donnerstag, den 23.06.05

Uhrzeit	Schwimm- becken	Aktiv- becken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	22				
08:00	7				
09:00	5	12	0	0	0
10:00	59	12	3	0	6
11:00	1	12	1	0	5
12:00	3	0	0	0	6
13:00	3	0	4	0	12
14:00	72	0	1	0	48
15:00	15	13	7	6	65
16:00	18	0	9	6	76
17:00	32	10	7	6	72
18:00	45	5	10	12	86
19:00	13	3	10	10	72
20:00	65	3	5	7	23
21:00	39	2	5	7	17
Summe	399	72	62	54	488

Tabelle 13.19: Besucher am Freitag, den 24.06.05

Uhrzeit	Schwimmbecken	Aktivbecken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	11				
08:00	6				
09:00	20	0	0	0	0
10:00	6	7	2	1	6
11:00	17	1	4	2	41
12:00	15	5	7	2	44
13:00	5	2	4	2	27
14:00	20	0	6	5	48
15:00	35	0	15	12	72
16:00	65	0	13	14	85
17:00	57	0	15	17	87
Summe	257	15	66	55	410

Tabelle 13.20: Besucher am Samstag, den 25.06.05

Uhrzeit		Schwimmbecken	Aktivbecken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00		10				
08:00		6				
09:00		6	0	2	3	10
10:00		10	0	5	3	22
12:00		28	3	7	11	110
13:00		33	10	10	12	130
14:00		45	19	12	11	14
15:00		50	18	14	13	130
16:00	Sportveranstaltung	45	25	16	23	210
17:00		50	24	20	20	200
18:00		18	27	17	18	170
19:00		25	4	10	12	56
20:00		7	5	8	4	12
21:00		8	0	0	6	28
Summe		341	133	121	136	1092

Tabelle 13.21: Besucher am Sonntag, den 26.06.05

Uhrzeit	Schwimm- becken	Aktiv- becken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	8				
08:00	15				
09:00	9	0	0	0	0
10:00	12	0	8	5	35
11:00	25	4	0	3	36
12:00	8	2	9	11	46
13:00	33	5	11	12	43
14:00	57	16	16	10	91
15:00	39	18	22	20	120
16:00	57	24	18	14	310
17:00	58	34	12	17	280
18:00	38	18	6	10	255
19:00	31	11	8	12	168
20:00	28	3	10	8	157
21:00	25	4	8	6	133
Summe	443	139	128	128	1647

Tabelle 13.22: Besucher am Montag, den 27.06.05

Uhrzeit	Schwimm- becken	Aktiv- becken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	30				
08:00	11				
09:00	36	0	0	0	3
10:00	25	0	4	2	4
11:00	8	0	2	0	6
12:00	0	0	2	2	14
13:00	9	0	3	2	4
14:00	3	11	6	2	14
15:00	1	0	0	0	5
16:00	30	10	6	6	45
17:00	36	10	8	6	42
18:00	54	8	5	7	38
19:00	40	7	7	8	47
20:00	47	15	6	4	10
21:00	30	12	8	8	8
Summe	360	73	57	47	240

Tabelle 13.23: Besucher am Dienstag, den 28.06.05

Uhrzeit	Schwimmbecken	Aktivbecken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	27				
08:00	0				
09:00	8	0	0	0	0
10:00	7	1	10	8	13
11:00	12	15	6	5	12
12:00	6	0	10	7	16
13:00	1	0	1	2	10
14:00	29	10	3	4	23
15:00	2	0	5	2	21
16:00	67	13	4	5	56
17:00	66	10	10	8	59
18:00	51	12	8	4	53
19:00	19	14	9	5	19
20:00	46	4	12	9	15
21:00	28	3	11	8	8
Summe	369	82	89	67	305

Tabelle 13.24: Besucher am Mittwoch, den 29.06.05

Uhrzeit	Schwimmbecken	Aktivbecken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	22				
08:00	16				
09:00	4	0	0	0	14
10:00	6	6	5	7	42
11:00	5	0	6	1	37
12:00	4	4	4	2	14
13:00	2	2	4	6	13
14:00	34	11	5	6	31
15:00	42	11	6	4	42
16:00	56	1	10	8	80
17:00	52	12	12	6	49
18:00	39	3	9	5	27
19:00	32	7	5	7	22
20:00	20	0	8	1	28
21:00	12	0	8	6	4
Summe	346	57	82	59	403

Tabelle 13.25: Besucher am Donnerstag, den 30.06.05

Uhrzeit	Schwimm- becken	Aktiv- becken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	56				
08:00	66				
09:00	86	0	0	0	0
10:00	57	15	1	2	4
11:00	8	14	5	5	47
12:00	35	6	5	1	11
13:00	2	6	8	6	16
14:00	12	8	6	7	23
15:00	3	9	5	8	43
16:00	36	5	10	13	37
17:00	52	3	11	7	45
18:00	64	3	12	9	18
19:00	24	3	13	8	33
20:00	35	0	8	3	64
21:00	22	0	4	3	3
Summe	558	72	88	72	344

Tabelle 13.26: Besucher am Freitag, den 01.06.05

Uhrzeit	Schwimm- becken	Aktiv- becken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	16				
08:00	6				
09:00	50	1	0	0	0
10:00	9	0	8	11	45
11:00	18	0	5	8	42
12:00	14	0	5	9	27
13:00	4	0	8	6	30
14:00	22	0	5	4	17
15:00	10	2	10	9	41
16:00	11	4	6	7	39
17:00	64	7	15	11	31
18:00	50	0	14	10	28
19:00	62	0	10	13	34
20:00	41	2	8	3	23
21:00	16	0	6	7	8
Summe	393	16	100	98	365

Tabelle 13.27: Besucher am Samstag, den 02.07.05

Uhrzeit	Schwimmbecken	Aktivbecken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	2				
08:00	6				
09:00	1	0	0	0	0
10:00	7	0	0	0	14
11:00	10	1	2	4	20
12:00	15	0	0	6	30
13:00	15	8	10	12	52
14:00	22	14	7	14	51
15:00	55	5	13	15	73
16:00	46	13	21	13	113
17:00	28	14	21	18	123
18:00	16	12	15	7	58
19:00	8	3	8	9	36
20:00	14	2	7	9	31
21:00	6	5	4	5	23
Summe	251	77	108	112	624

Tabelle 13.28: Besucher am Sonntag, den 03.07.05

Uhrzeit	Schwimmbecken	Aktivbecken	Whirlpool 1	Whirlpool 2	Spaßbecken
07:00	7				
08:00	5				
09:00	5	4	0	0	0
10:00	13	0	5	5	33
11:00	14	9	7	7	62
12:00	18	8	13	13	84
13:00	20	11	14	12	96
14:00	29	16	16	11	108
15:00	48	6	14	16	89
16:00	38	20	22	14	163
17:00	18	13	19	9	120
18:00	18	4	15	14	47
19:00	13	6	8	5	21
20:00	4	0	6	3	13
21:00	5	2	2	4	9
22:00	340	112	68	83	420
Summe	588	211	209	196	1265

13.5 Ergebnisse des Belastungstestes

Tabelle 13.29: freies Chlor

Zeit [h]	Uhrzeit	freies Chlor [mg/l]		
		Probe A	Probe B	Mittelwert
Messstelle 1 (Becken)				
0	vor Beginn	0,43	0,40	0,415
5	22:00	0,43	0,45	0,440
Messstelle 2 (Becken)				
0	vor Beginn	0,45	0,41	0,430
5	22:00	0,45	0,49	0,470
Messstelle 3 (Becken)				
0	vor Beginn	0,43	0,29	0,360
5	22:00	0,52	0,53	0,525
Messstelle 4 (Becken)				
0	vor Beginn	0,51	0,53	0,520
5	22:00	0,55	0,53	0,540
Messstelle 5 (Messwasser aus dem Becken)				
0	vor Beginn	0,37	0,31	0,340
1	18:00	0,43	0,48	0,455
2	19:00	0,50	0,41	0,455
3	20:00	0,46	0,49	0,475
4	21:00	0,49	0,50	0,495
5	22:00	0,44	0,43	0,435
Messstelle 6 (Reinwasser)				
0	vor Beginn	0,22	0,20	0,210
1	18:00	1,45	1,29	1,370
2	19:00	1,20	1,37	1,285
3	20:00	0,93	0,98	0,955
4	21:00	1,00	0,98	0,990
5	22:00	1,16	1,38	1,270
Messstelle 7 (Rohwasser)				
0	vor Beginn	0,10	0,07	0,085
1	18:00	0,34	0,37	0,355
2	19:00	0,34	0,35	0,345
3	20:00	0,40	0,38	0,390
4	21:00	0,34	0,35	0,345
5	22:00	0,41	0,46	0,435

Tabelle 13.30: gebundenes Chlor

Zeit [h]	Uhrzeit	gebundenes Chlor [mg/l]		
		Probe A	Probe B	Mittelwert
Messstelle 5 (Messwasser aus dem Becken)				
0	vor Beginn	0,09	0,06	0,075
1	18:00	0,13	0,10	0,115
2	19:00	0,12	0,15	0,135
3	20:00	0,16	0,13	0,145
4	21:00	0,14	0,13	0,135
5	22:00	0,13	0,09	0,110
Messstelle 7 (Rohwasser)				
0	vor Beginn	0,20	0,21	0,205
1	18:00	0,18	0,16	0,170
2	19:00	0,18	0,16	0,170
3	20:00	0,23	0,16	0,195
4	21:00	0,18	0,19	0,185
5	22:00	0,15	0,09	0,120
Messstelle 8 (Filtrat)				
0	vor Beginn	0,00	0,00	0,000
1	18:00	0,00	0,06	0,030
2	19:00	0,00	0,00	0,000
3	20:00	0,05	0,05	0,050
4	21:00	0,00	0,02	0,010
5	22:00	0,07	0,06	0,065
Messstelle 9 (Filtrat)				
0	vor Beginn	0,04	0,03	0,035
1	18:00	0,05	0,01	0,030
2	19:00	0,04	0,04	0,040
3	20:00	0,07	0,04	0,055
4	21:00	0,01	0,06	0,035
5	22:00	0,07	0,07	0,070

Tabelle 13.31: Säurekapazität

Zeit [h]	Uhrzeit	Säurekapazität		
		Probe A	Probe B	Mittelwert
Messstelle 5 (Messzelle)				
0	vor Beginn	0,92	0,95	0,94
1	18:00	0,88	0,84	0,86
2	19:00	0,91	0,78	0,85
3	20:00	0,88	0,90	0,89
4	21:00	0,92	0,81	0,87
5	22:00	0,91	0,92	0,92

Tabelle 13.32: pH-Wert

Zeit [h]	Uhrzeit	pH-Wert		
		Probe A	Probe B	Mittelwert
Messstelle 5 (Messzelle)				
0	vor Beginn	7,03	7,10	7,07
1	18:00	7,03	7,04	7,04
2	19:00	7,03	7,03	7,03
3	20:00	7,07	7,08	7,08
4	21:00	7,10	7,10	7,10
5	22:00	7,12	7,12	7,12

Tabelle 13.33: Redox-Spannung

Zeit [h]	Uhrzeit	Redox-Spannung [mV]
Messzelle 5		
0	vor Beginn	796
1	18:00	794
2	19:00	796
3	20:00	794
4	21:00	794
5	22:00	792

Tabelle 13.34: Aluminium, o-Phosphate

Zeit [h]	Uhrzeit	Aluminium [mg/l]		o-Phosphate [mg/l]	
		Probe A	Probe B	Probe A	Probe B
Messstelle 6 (Reinwasser)					
0	vor Beginn	< 0,1	< 0,1		
5	22:00	< 0,1	< 0,1		
Messstelle 7 (Rohwasser)					
0	vor Beginn	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
5	22:00	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabelle 13.35: mikrobiologische Parameter des Reinwassers

Zeit [h]	Uhrzeit	Pseudomonas Aeruginosa [KBE/100 ml]		Legionella Pneumophila [KBE/ml]	
		Probe A	Probe B	Probe A	Probe B
0	vor Beginn	0	0	0	0
5	22:00	0	0	0	0

13.6 Ergebnisse der Versuche mit unterschiedlicher Umwälzleistung

Tabelle 13.36: Messwerte im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bei 100 % Umwälzleistung

Datum	Uhrzeit	Zeit	freies Chlor	geb. Chlor	Redoxspann.	pH	Strom	Stetszulauf	Füllwasser	Besucherzahl
-	-	h	mg/l	mg/l	mV	-	kWh	m ³	m ³	-
05.09.2005	06:00	0,00	0,5		767	6,99	7447,0	364,6	1497,1	
	10:00	4,00	0,39		752	7,19				
	12:00	6,00	0,44		754	7,20				
	20:00	14,00	0,49		760	7,21				
06.09.2005	06:00	24,00	0,5	0,12	767	6,99		364,0	1500,0	1932
	12:00	30,00	0,45		761	7,20				
	20:00	38,00	0,47		760	7,20				
07.09.2005	06:00	48,00	0,67	0,01	766	7,28		364,0	1513,0	1988
	12:00	54,00	0,45		765	7,20				
	20:00	62,00	0,46		764	7,21				
08.09.2005	06:00	72,00	0,57	0,02	766	7,30		365,0	1516,0	2529
	12:00	78,00	0,42		762	7,20				
	20:00	86,00	0,48		763	7,19				
09.09.2005	06:00	96,00	0,4	0,05	754	7,30	7831,7	365,3	1519,5	1767
	10:00	100,00	0,43		761	7,22				
	12:00	102,00	0,46		764	7,20				
	20:00	110,00	0,44		765	7,19				
10.09.2005	06:00	120,00	0,45	0,09	758	7,28		365,6	1528,5	1501
	12:00	126,00	0,47		763	7,22				
	20:00	134,00	0,47		763	7,17				
11.09.2005	06:00	144,00	0,45	0,05	758	7,15		366,1	1535,3	1668
	12:00	150,00	0,45		759	7,20				
	20:00	158,00	0,45		760	7,18				
12.09.2005	06:00	168,00	0,57	0,08	760	7,33		366,0	1538,0	1396
	10:15	172,25	0,42		760	7,19				
	12:00	174,00	0,46		760	7,19				
	20:00	182,00	0,43		765	7,20				
13.09.2005	06:00	192,00	0,5	0,09	766	7,12		366,0	1541,0	1688
	12:00	198,00	0,45		766	7,19				
	20:00	206,00	0,4		766	7,19				
14.09.2005	06:00	216,00	0,53	0,08	766	7,26		366,0	1550,0	1683
	12:00	222,00	0,42		764	7,19				
	20:00	230,00	0,42		765	7,19				
15.09.2005	06:00	240,00	0,51	0,12	767	7,29		367,0	1554,0	2282
	20:00	254,00	0,43		763	7,19				
16.09.2005	06:00	264,00	0,63	0,09	767	7,27	8489,9	367,0	1560,0	1762
	10:00	268,00	0,51		765	7,20				
	20:00	278,00	0,46		762	7,19				
17.09.2005	06:00	288,00	0,47	0,15	763	6,95		368,0	1563,0	1432
	12:00	294,00	0,43			7,20				
	20:00	302,00	0,42		760	7,19				
18.09.2005	06:00	312,00	0,54	0,08	763	7,12		368,0	1575,0	1323
	12:00	318,00	0,4		756	7,19				
	20:00	326,00	0,43		757	7,17				
19.09.2005	06:00	336,00	0,47	0,13	759	7,03	8754,8	368,0	1579,0	1441
	10:00	340,00	0,49		759	7,19				
	12:00	342,00	0,42		760	7,21				
	20:00	350,00	0,46		763	7,19				

Tabelle 21.1: Messwerte im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bei 100 % Umwälzleistung

Datum	Uhrzeit	Zeit	freies Chlor	geb. Chlor	Redoxspann.	pH	Strom	Stets-zulauf	Füll-wasser	Besucher-zahl
-	-	h	mg/l	mg/l	mV	-	kWh	m ³	m ³	-
20.09.2005	06:00	360,00	0,65	0,1	765	7,23		369,0	1583,0	1542
	12:00	366,00	0,43		763	7,20				
	20:00	374,00	0,46		760	7,18				
21.09.2005	06:00	384,00	0,51	0,07	764	7,30		369,0	1589,0	1759
	12:00	390,00	0,41		761	7,22				
	20:00	398,00	0,45		763	7,20				
22.09.2005	06:00	408,00	0,48	0,08	766	7,33		370,0	1595,0	2045
	12:00	414,00	0,43		762	7,21				
	20:00	422,00	0,46		759	7,19				
23.09.2005	06:00	432,00	0,55	0,07	757	7,29	9135,2	370,0	1598,0	1674
	10:00	436,00	0,45		756	7,19		370,4	1600,6	
	12:00	438,00	0,42		758	7,20				
	20:00	446,00	0,42		761	7,20				
24.09.2005	06:00	456,00	0,47	0,08	762	7,30		371,0	1606,0	1112
	12:00	462,00	0,48		760	7,21				
	20:00	470,00	0,43		758	7,19				
25.09.2005	06:00	480,00	0,52	0,07	761	7,31		373,0	1608,0	1651
	12:00	486,00	0,46		764	7,24				
	20:00	494,00	0,42		758	7,26				
26.09.2005	06:00	504,00	0,52	0,1	763	7,21	9421,5	347,0	1610,0	1558
	10:35	508,58	0,46		762	7,20		376,4	1614,3	
	12:00	510,00	0,44		763	7,20				
	20:00	518,00	0,47		766	7,20				
27.09.2005	06:00	528,00	0,54	0,05	769	7,24		377,0	1614,0	1746
	12:00	534,00	0,46		767	7,21				
	20:00	542,00	0,45		766	7,20				
28.09.2005	06:00	552,00	0,53	0,09	766	7,25		377,0	1620,0	1812
	12:00	558,00	0,42		765	7,21				
	20:00	566,00	0,48		767	7,20				
29.09.2005	06:00	576,00	0,47	0,08	770	7,22		378,0	1623,0	2032
	12:00	582,00	0,43		774	7,11				
	20:00	590,00	0,43		776	7,11				
30.09.2005	06:00	600,00	0,38	0,12	774	6,80	9809,7	378,0	1632,0	1559
	09:05	603,09	0,46		775	7,11		378,3	1632,4	
	12:00	606,00	0,41		775	7,10				
	20:00	614,00	0,45		773	7,13				
01.10.2005	06:00	624,00	0,42	0,11	777	7,11		379,0	1635,0	1414
	12:00	630,00	0,44		777	7,11				
	20:00	638,00	0,48		770	7,10				
02.10.2005	06:00	648,00	0,61	0,04	768	7,10		379,0	1638,0	1900
	12:00	654,00	0,44		765	7,11				
	20:00	662,00	0,45		754	7,09				
03.10.2005	06:00	672,00	0,49	0,16	759	7,06		379,0	1654,0	1942
	12:00	678,00	0,4		755	7,10				
	20:00	686,00	0,45		758	7,07				
04.10.2005	06:00	696,00	0,36	0,14	741	7,20	10174,7	379,0	1648,0	1571
	10:00	700,00	0,46		748	7,06		379,9	1655,5	

Tabelle 13.37: Messwerte im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bei 80 % Umwälzleistung

Datum	Uhrzeit	Zeit	freies Chlor	geb. Chlor	Redoxspann.	pH	Strom	Stetszulauf	Füllwasser	Besucherszahl
-	-	h	mg/l	mg/l	mV	-	kWh	m ³	m ³	-
04.10.2005	12:00	0,00	0,45		747	7,11				1571
	20:00	8,00	0,44		753	7,11				
05.10.2005	06:00	18,00	0,44	0,11	757	7,10		380,0	1660,0	1973
	12:00	24,00	0,41		758	7,11				
	20:00	32,00	0,41		763	7,10				
06.10.2005	06:00	42,00	0,38	0,13	763	7,26		380,0	1667,0	1918
	12:00	48,00	0,43		763	7,08				
	20:00	56,00	0,43		765	7,11				
07.10.2005	06:00	66,00	0,53	0,06	767	7,19	10367,0	380,0	1669,0	1485
	10:00	70,00	0,4		764	7,12		380,9	1669,9	
	12:00	72,00	0,43		766	7,11				
	20:00	80,00	0,41		769	7,11				
08.10.2005	06:00	90,00	0,49	0,09	773	7,18		381,0	1673,0	900
	12:00	96,00	0,44		769	7,18				
	20:00	104,00	0,45		760	7,23				
09.10.2005	06:00	114,00	0,5	0,11	761	7,20		382,0	1681,0	
	12:00	120,00	0,42		769	7,14				
	20:00	128,00	0,46		764	7,10				
10.10.2005	06:00	138,00	0,45	0,11	761	7,13	10553,4	382,0	1688,0	1691
	10:00	142,00	0,41		760	7,11		382,5	1688,4	
	12:00	144,00	0,43		760	7,11				
	20:00	152,00	0,42		766	7,11				
11.10.2005	06:00	162,00	0,46	0,07	763	7,22		382,0	1692,0	1571
	12:00	168,00	0,41		749	7,06				
	20:00	176,00	0,41		742	7,07				
12.10.2005	06:00	186,00	0,31	0,07	743	7,30		383,0	1701,0	1724
	12:00	192,00	0,52		741	7,09				
	20:00	200,00	0,47		741	7,09				
13.10.2005	06:00	210,00	0,67	0,1	752	7,31		383,0	1705,0	1788
	12:00	216,00	0,48		751	7,09				
	20:00	224,00	0,42		748	7,09				
14.10.2005	06:00	234,00	0,34	0,1	751	7,16	10808,8	384,0	1711,0	1550
	10:30	238,50	0,5		750	7,09		384,3	1711,1	
	12:00	240,00	0,45		750	7,09				
	20:00	248,00	0,49		753	7,10				
15.10.2005	06:00	258,00	0,41	0,09	756	7,30		384,0	1714,0	1285
	12:00	264,00	0,5		756	7,10				
	20:00	272,00	0,42		755	7,10				
16.10.2005	06:00	282,00	0,39	0,11	758	7,33		384,0	1717,0	1758
	12:00	288,00	0,43		753	7,11				
	20:00	296,00	0,44		749	7,08				
17.10.2005	06:00	306,00	0,3	0,08	751	7,24	10999,9	384,0	1727,0	1151
	10:10	310,17	0,4		751	7,12		384,9	1727,5	
	12:00	312,00	0,45		752	7,10				
	20:00	320,00	0,49		756	7,09				
18.10.2005	06:00	330,00	0,51	0,11	757	7,15		385,0	1734,0	1185
	12:00	336,00	0,45		756	7,10				
	20:00	344,00	0,49		759	7,11				

Tabelle 21.2: Messwerte im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bei 80 % Umwälzleistung

Datum	Uhrzeit	Zeit	freies Chlor	geb. Chlor	Redoxspann.	pH	Strom	Stets-zulauf	Füll-wasser	Besucher-zahl
-	-	h	mg/l	mg/l	mV	-	kWh	m ³	m ³	-
19.10.2005	06:00	354,00	0,65	0,14	761	7,12		385,0	1738,0	1468
	12:00	360,00	0,49		761	7,10				
	20:00	368,00	0,44		757	7,09				
20.10.2005	06:00	378,00	0,38	0,08	760	7,22		385,0	1741,0	1327
	12:00	384,00	0,46		754	7,11				
	20:00	392,00	0,45		755	7,11				
21.10.2005	06:00	402,00	0,37	0,15	758	7,22	11254,7	386,0	1751,0	1495
	10:15	406,25	0,51		759	7,10		386,0	1751,7	
	12:00	408,00	0,47		758	7,10				
	20:00	416,00	0,48		760	7,09				
22.10.2005	06:00	426,00	0,44	0,06	761	7,22		387,0	1754,0	1390
	12:00	432,00	0,48		767	7,12				
	20:00	440,00	0,43		762	7,11				
23.10.2005	06:00	450,00	0,44	0,09	760	7,08		387,0	1758,0	2033
	12:00	456,00	0,48		757	7,10				
	20:00	464,00	0,43		750	7,10				
24.10.2005	06:00	474,00	0,4	0,09	749	7,18	11442,6	387,0	1771,0	1704
	10:15	478,25	0,51		751	7,11		387,1	1771,7	
	12:00	480,00	0,46		751	7,10				
	20:00	488,00	0,48		751	7,11				
25.10.2005	06:00	498,00	0,4	0,08	754	7,17		387,0	1776,0	1669
	12:00	504,00	0,41		754	7,12				
	20:00	512,00	0,46		755	7,11				
26.10.2005	06:00	522,00	0,43	0,1	760	7,13		388,0	1779,0	1750
	12:00	528,00	0,48		760	7,11				
	20:00	536,00	0,49		758	7,09				
27.10.2005	06:00	546,00	0,49	0,09	759	7,12		389,2	1784,3	1411
	12:00	552,00	0,44		755	7,10				
	20:00	560,00	0,47		758	7,09				
28.10.2005	06:00	570,00	0,45	0,11	757	7,15	11691,0	389,3	1796,4	1388
	10:00	574,00	0,44		756	7,11		390,2	1799,2	
	12:00	576,00	0,44		757	7,11				
	20:00	584,00	0,45		761	7,11				
29.10.2005	06:00	594,00	0,33	0,15	761	6,95		390,0	1799,0	1261
	12:00	600,00	0,43		763	7,12				
	20:00	608,00	0,48		760	7,10				
30.10.2005	06:00	618,00	0,49	0,09	759	7,12		389,2	1784,3	
	12:00	624,00	0,41		761	7,10				
	20:00	632,00	0,29		744	7,13				
31.10.2005	06:00	642,00	0,45	0,11	692	7,16	11865,2	391,0	1803,0	
	10:00	646,00	0,38		722	7,10		391,8	1812,2	
	12:00	648,00	0,46		735	7,09				

Tabelle 13.38: Messwerte im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bei 60 % Umwälzleistung

Datum	Uhrzeit	Zeit	freies Chlor	geb. Chlor	Redoxspann.	pH	Strom	Stetszulauf	Füllwasser	Besucherszahl
-	-	h	mg/l	mg/l	mV	-	kWh	m ³	m ³	-
31.10.2005	20:00	0,00	0,45		752	7,10				
01.11.2005	06:00	10,00	0,3		745	7,11		392,0	1812,0	2029
	12:00	16,00	0,08		720	7,10				
	20:00	24,00	0,41		742	7,11				
02.11.2005	06:00	34,00	0,2		737	7,13		392,0	1832,0	1685
	12:00	40,00	0,43		734	7,12				
	20:00	48,00	0,43		747	7,11				
03.11.2005	06:00	58,00	0,29		745	7,14		393,0	1842,0	1852
	12:00	64,00	0,43		738	7,17				
	20:00	72,00	0,49		745	7,21				
04.11.2005	06:00	82,00	0,4		747	7,33	11969,7			
	10:00	86,00	0,42		743	7,20				
	12:00	88,00	0,46		745	7,24				
	20:00	96,00	0,46		748	7,30				
05.11.2005	06:00	106,00	0,49		755	7,35		394,8	1859,4	1240
	12:00	112,00	0,42		753	7,35				
	20:00	120,00	0,48		746	7,38				
06.11.2005	06:00	130,00	0,49		753	7,31		395,6	1859,4	1644
	12:00	136,00	0,46		749	7,35				
	20:00	144,00	0,41		744	7,34				
07.11.2005	06:00	154,00	0,4	0,1	744	7,26	12088,6	395,6	1872,5	1617
	10:00	158,00	0,4		739	7,31		395,6	1872,5	
	12:00	160,00	0,46		753	7,17				
	20:00	168,00	0,42		761	7,12				
08.11.2005	06:00	178,00	0,34	0,08	759	7,14		397,2	1879,3	1567
	12:00	184,00	0,46		756	7,11				
	20:00	192,00	0,5			7,12				
09.11.2005	06:00	202,00	0,28	0,09	751	7,08				1741
	12:00	208,00	0,51		740	7,12				
	20:00	216,00	0,46		752	7,12				
10.11.2005	06:00	226,00	0,34	0,16	757	7,10		399,0	1889,0	1775
	12:00	232,00	0,5		745	7,16				
	20:00	240,00	0,47		755	7,12				
11.11.2005	06:00	250,00	0,31	0,13	757	7,16	12200,0	399,0	1901,0	1639
	09:45	253,75	0,42		757	7,11		399,3	1901,5	
	12:00	256,00	0,46		762	7,11				
12.11.2005	06:00	274,00	0,46	0,13	762	7,35		399,0	1905,0	1322
	12:00	280,00	0,48		765	7,14				
	20:00	288,00	0,44		757	7,12				
13.11.2005	06:00	298,00	0,37	0,13	755	7,17		401,0	1918,0	3376
	12:00	304,00	0,43		757	7,13				
	20:00	312,00	0,47		747	7,09				
14.11.2005	10:00	326,00	0,46		747	7,11	12305,9	401,4	1923,1	
	12:00	328,00	0,51		749	7,11				
	20:00	336,00	0,49		761	7,09				
15.11.2005	12:00	352,00	0,47		760	7,11				
	20:00	360,00	0,46		762	7,11				
16.11.2005	12:00	376,00	0,52		767	7,11				
	20:00	384,00	0,44		769	7,11				

Tabelle 21.3: Messwerte im Kreislauf Aktivbecken (Nettebad) bei 60 % Umwälzleistung

Datum	Uhrzeit	Zeit	freies Chlor	geb. Chlor	Redoxspann.	pH	Strom	Stets-zulauf	Füll-wasser	Besucher-zahl
-	-	h	mg/l	mg/l	mV	-	kWh	m ³	m ³	-
17.11.2005	12:00	400,00	0,5		762	7,12				
	20:00	408,00	0,46		765	7,13				
18.11.2005	12:00	424,00	0,48		772	7,10				
	20:00	432,00	0,47		771	7,11				
19.11.2005	12:00	448,00	0,46		775	7,11				
	20:00	456,00	0,42		766	7,14				
20.11.2005	12:00	472,00	0,42		768	7,11				
	20:00	480,00	0,41		764	7,09				
21.11.2005	06:00	490,00	0,39	0,12	768	7,10		409,0	1968,0	
	12:00	496,00	0,45		764	7,12				1643
	20:00	504,00	0,45		760	7,18				
22.11.2005	06:00	514,00	0,51	0,04	762	7,33				
	12:00	520,00	0,43		757	7,22				1470
23.11.2005	06:00	538,00	0,46	0,07	762	7,26				
	12:00	544,00	0,45		761	7,16				1308
24.11.2005	06:00	562,00	0,46	0,1	766	7,28		408,0	1979,0	
	12:00	568,00	0,45		762	7,15				
	20:00	576,00	0,46		766	7,13				
25.11.2005	06:00	586,00	0,47	0,06	766	7,29				
	09:45	589,75	0,46		764	7,15				
	12:00	592,00	0,45		761	7,14				753
	20:00	600,00	0,26		762	7,18				
26.11.2005	06:00	610,00	1,01	0,11	765	7,40		410,0	1990,0	
	12:00	616,00	0,42		762	7,17				410
	20:00	624,00	0,45		760	7,15				
27.11.2005	06:00	634,00	0,36	0,15	761	7,32		410,0	2004,0	
	12:00	640,00	0,45		759	7,18				705
	20:00	648,00	0,45		762	7,19				
28.11.2005	06:00	658,00	0,42	0,11	763	7,39		411,0	2013,0	
	10:00	662,00	0,45		763	7,21	12791,7	411,3	2013,9	
	12:00	664,00	0,45		762	7,24				1319
	20:00	672,00	0,45		764	7,27				

Tabelle 13.39: Messwerte im Kreislauf Warmbecken (Schinkelbad)

Datum	Uhrzeit	Zeit	freies Chlor	geb. Chlor	Redoxspann.	pH	Füllwasser	Besucherzahl
-	-	h	mg/l	mg/l	mV	-	m ³	-
13.09.2005	05:30	0,00	0,54	0,18	799	7,27		
	12:30	7,00	0,54	0,23				
	21:00	15,50	0,51	0,29	799	7,35	20	193
14.09.2005	09:00	27,50	0,62	0,19	785	7,30		
	12:30	31,00	0,50	0,18				
	21:00	39,50	0,62	0,19	767	7,69	14	215
15.09.2005	05:30	48,00	0,51	0,21	792	7,35		
	12:00	54,50	0,68	0,28				
	21:00	63,50	0,49	0,21	813	7,03	20	165
16.09.2005	09:00	75,50	0,51	0,23	811	7,30		
	12:00	78,50	0,57	0,17	797	7,29		
	21:00	87,50	0,56	0,24	801	7,23	2	175
17.09.2005	05:30	96,00	0,45	0,22	797	7,16		
	21:00	111,50	0,64	0,17	787	7,51	5	84
18.09.2005	05:30	120,00	0,63	0,14	795	7,15		
	21:00	135,50	0,55	0,18	802	7,14	15	96
19.09.2005	09:30	148,00	0,60	0,12	780	7,32		
	13:00	151,50	0,60	0,25		7,31		
	21:00	159,50	0,64	0,26	851	6,94	8	96
20.09.2005	06:00	168,50	0,45	0,15		6,57		
	13:00	175,50	0,63	0,27				
	21:00	183,50	0,63	0,27		6,97	26	183
21.09.2005	09:30	196,00	0,38	0,24	790	7,27		
	13:00	199,50	0,54	0,25				
	21:00	207,50	0,38	0,29	769	7,39	13	180
22.09.2005	07:00	217,50	0,42	0,20	772	7,32		
	13:00	223,50	0,54	0,16				
	21:00	231,50	0,77	0,21	788	7,39	18	195
23.09.2005	09:00	243,50	0,63	0,17	829	7,12		
	12:00	246,50	0,54	0,21				
	21:00	255,50	0,88	0,20	789	7,15	6	159
24.09.2005	09:00	267,50	0,70	0,03	789	7,54		
	17:00	275,50	0,64	0,10	842	6,71	4	53
25.09.2005	09:00	291,50	0,73	0,09	821	6,99		
	12:00	294,50	0,68	0,17	805	7,18	16	121
26.09.2005	09:00	315,50	0,56	0,11	793	7,26		
	12:00	318,50	0,43	0,22				
	20:00	326,50	0,59	0,20	787	7,07	6	259
27.09.2005	09:00	339,50	0,56	0,20	787	7,17		
	12:00	342,50	0,56	0,23				
	21:00	351,50	0,60	0,19	787	7,31	20	200
28.09.2005	07:00	361,50	0,62	0,13	789	7,39		
	12:00	366,50	0,66	0,28				
	21:00	375,50	0,47	0,23		7,33	20	195
29.09.2005	06:00	384,50	0,33	0,17	795	7,29		
	13:00	391,50	0,62	0,22				
	21:00	399,50	0,64	0,21	835	6,74	9	191

Tabelle 21.4: Messwerte im Kreislauf Warmbecken (Schinkelbad)

Datum	Uhrzeit	Zeit	freies Chlor	geb. Chlor	Redoxspann.	pH	Füllwasser	Besucherzahl
-	-	h	mg/l	mg/l	mV	-	m ³	-
30.09.2005	06:00	408,50	0,45	0,17	804	7,03		
	12:00	414,50	0,88	0,22				
	21:00	423,50	0,74	0,18	799	7,04	21	151
01.10.2005	06:00	432,50	0,72	0,19	799	7,26		
	17:00	443,50	0,87	0,07	791	7,21	8	89
02.10.2005	06:30	457,00	0,78	0,00	822	7,22		
	16:00	466,50	0,66	0,28		7,21	9	125
03.10.2005	06:00	480,50	0,63	0,16	753	7,21	23	geschlossen
04.10.2005	06:00	504,50	0,17	0,28	728	7,40		
	12:00	510,50	0,29	0,15				
	21:00	519,50	0,44	0,23	764	7,15	7	154
05.10.2005	06:00	528,50	0,47	0,20	751	7,39		
	12:00	534,50	0,55	0,24				
	21:00	543,50	0,40	0,32	755	7,21	18	136
06.10.2005	06:00	552,50	0,52	0,19	764	7,82		
	12:00	558,50	0,42	0,27				
	21:00	567,50	0,36	0,25	758	7,14	8	192
07.10.2005	06:00	576,50	0,54	0,17	760	7,00		
	12:00	582,50	0,53	0,10				
	21:00	591,50	0,52	0,13	751	7,25	31	137
08.10.2005	06:00	600,50	0,41	0,19	759	7,21		
	21:00	615,50	0,49	0,15	755	7,29	5	63
09.10.2005	06:00	624,50	0,47	0,15	783	7,22		
	21:00	639,50	0,18	0,20	751	7,28	17	73
10.10.2005	06:00	648,50	0,49	0,20	732	7,34		
	12:00	654,50	0,68	0,15				
	21:00	663,50	0,36	0,22	742	7,08	9	215