

Teil I. Filter in der Wasseraufbereitung

I.1. Einleitung

Sklaven ähnlich stehen die Filter wie gigantische Monumente eingestaubt in dunkel feuchten Technikellern. Alles schluckend verrichten sie ohne Murren mehr schlecht als recht ihre Pflicht im Dienste der Wassermänner.

Nur alle paar Tage dringt wieder Licht in die kargen Karzer, wenn die weißgekleideten Kerkermeister mit schlappenden Badelatschen mißmutig Ihrem Dienst nachkommend alchemistengleich die notwendigen Spül- und Waschkappen öffnen damit das Filter die aufgestauten Massen aus seinen Innereien wieder in dunkle Schächte ausspeien kann, um nicht zu platzen. Dermaßen befreit kann wieder zur Fütterung geschritten werden und der Zyklus kann von neuem beginnen. Aus Behältern saugende Pumpenheerscharen drücken und quetschen riechende und nicht riechende aber auch (f)lockende Fluide in den schluckenden Filterschlund bis dieser, wieder zum Bersten voll, nach seinen Meistern ruft. Gut, dass dies Horrorszenario kräftig überzeichnet ist. Die Überzeichnung ist allerdings notwendig, da in der Tat in vielen Fällen das Thema Filter sehr stiefmütterlich behandelt wird obwohl Filter das Kernelement in jeder Aufbereitungsanlage von Schwimm- und Badebeckenwasser sind.

Ob Sand- oder Anschwemmfilter, ohne diese Komponenten aus Stahl oder Kunststoff wäre eine Wasseraufbereitung unvorstellbar und nicht durchzuführen. Trotzdem wird dem Thema Filter und Filtration immer noch viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Auch in der Praxis erfolgt der Betrieb vielerorts gegen jede Vorschrift, zum Teil völlig falsch. So wissen die Betreiber oft nicht, wie deren Filter aufgebaut sind oder sein sollten.

Stellt die richtige Betriebsweise hinsichtlich maximaler Filtergeschwindigkeit meist noch kein Problem dar, herrscht im Gegensatz dazu bei der Art und Weise der richtigen Spülung meist blankes Unwissen vor. Dieser Bericht soll zum Thema Filter in der Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser einige Punkte beleuchten, die für den Praktiker von Bedeutung sind.

Technische Vorschriften für Filter

Zum Thema Filter existieren einschlägige Vorschriften oder entsprechende Hinweise und Vorschläge, die jedoch in der Praxis oft überhaupt nicht eingehalten werden. Vielleicht liegt es daran, daß diese Vorschriften und die meist aus praktischen Erfahrungen stammenden Hinweise nirgends in gebündelter Form vorliegen.

So sind teilweise Informationen über Aufbau, Funktion und Betrieb von Filtern in der heftig diskutierten, eben erst neu erschienenen DIN 19643 [1] enthalten, weitere Angaben sind jedoch aus den Normen DIN 19605 [2] und DIN 19623 [3] zu entnehmen.

Das ist verständlicherweise für den Praktiker, sei es nun der Planer, der Wassertechniker oder der im Bad Zuständige, sehr mühsam und auch noch unbefriedigend, da meistens nur unpräzise allgemeine Angaben gemacht werden. In der erstgenannten Norm wird darauf hingewiesen, dass „der Einfluss der Spülwassertemperatur auf die Spülwassergeschwindigkeit“ zu berücksichtigen ist. Wie das gehen soll, darüber schweigt sich die Norm dezent aus. Weiter will man sich in der eben genannten Norm zum Thema Spülprogramm überhaupt nicht festlegen. Die Angaben werden sogar als „Richtwerte“ bezeichnet und verstehen sich somit als unverbindliche Empfehlungen, was man normalerweise von einer Deutschen Norm nicht erwarten würde.

Vorbildlich hingegen sind die Angaben zum Filtrationsbetrieb. Hier werden Zahlen und Fakten genannt, die aus praktischen Erfahrungen und Untersuchungen [4,5] resultieren und auch in der Praxis zu vertreten sind. Selbst der für Schnellfilter nach DIN 19605 zu Süßwasser angegebene maximale Wert von 30 m/h Filtergeschwindigkeit ist mittlerweile akzeptiert worden, allerdings nicht immer ohne Zähneknirschen. Dies gilt auch für die 20 m/h bei Meer- und Brackwasser. Da aus den gesamten Untersuchungen bekannt ist, dass die Filterleistung unter Einhaltung der eben genannten Werte sehr gut ist, sind diese Werte zur Auslegung neuer und zu sanierender Filteranlagen heranzuziehen. Sicherlich wird der Platzbedarf für diese größeren Filter speziell bei Sanierungsmaßnahmen zum Teil erhebliche Probleme aufwerfen. Geht man hier jedoch dann auf Kompromisse ein, wird das in der Regel zu Problemen führen. [6] Schließlich gilt es einen Punkt zu nennen, der vor Jahren in diesem Bericht sicherlich nicht breiter erwähnt worden wäre, da er für den Autor als Selbstverständlichkeit vorausgesetzt wurde: Die Filterspülung muss **drucklos** durchführbar sein!

Unvorstellbar aber wahr, es gibt immer noch sehr viele Filter, wo eine Spülung mit geöffnetem Mannloch zu einer wahren Flutkatastrophe im Technikeller führen würde. Also läßt man diese stets geschlossen oder drosselt die Spülwassermengen. Das darf natürlich nicht sein. Die Schlammwasserableitung ist so zu dimensionieren, dass die für die Spülung notwendige Wassermenge problemlos ohne Überstau abfließen kann.

I.2.

Teil I. Filter in der Wasseraufbereitung

I.1. Einleitung

Sklassen ähnlich stehen die Filter wie gigantische Monumente eingebaut in dunkel feuchten Technikellern. Alles schluckend verrichten sie ohne Murren mehr schlecht als recht ihre Pflicht im Dienste der Wassermänner.
Nur alle paar Tage dringt wieder Licht in die kargen Korzer, wenn die weißgekleideten Kerkernmeister mit schlappenden Badelatschen müßig ihr Dienst nachkommend achtsamstenglich die notwendigen Spül- und Waschklappen öffnen damit das Filter die aufgestauten Massen aus seinen Inneren wieder in dunkle Schächte ausspeien kann, um nicht zu platzen. Dermaßen befreit kann wieder zur Fütterung geschritten werden und der Zyklus kann von neuem beginnen. Aus Behältern saugende Pumpenheerscharen drücken und quetschen riechende und nicht riechende aber auch (f)lockende Fluide in den schluckenden Filterschlund bis dieser, wieder zum Bersten voll, nach seinen Meistern ruft. Gut, dass dies Horrorszenario kräftig überzeichnet ist. Die Überzeichnung ist allerdings notwendig, da in der Tat in vielen Fällen das Thema Filter sehr stiefmütterlich behandelt wird obwohl Filter das Kemelement in jeder Aufbereitungsanlage von Schwimm- und Badebeckenwasser sind.
Ob Sand- oder Anschwemmfilter, ohne diese Komponenten aus Stahl oder Kunststoff wäre eine Wasseraufbereitung unvorstellbar und nicht durchzuführen. Trotzdem wird dem Thema Filter und Filtration immer noch viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Auch in der Praxis erfolgt der Betrieb vielerorts gegen jede Vorschrift, zum Teil völlig falsch. So wissen die Betreiber oft nicht, wie deren Filter aufgebaut sind oder sein sollten.
Stellt die richtige Betriebsweise hinsichtlich maximaler Filtergeschwindigkeit meist noch kein Problem dar, herrscht im Gegensatz dazu bei der Art und Weise der richtigen Spülung meist blanke Unwissen vor. Dieser Bericht soll zum Thema Filter in der Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser einige Punkte beleuchten, die für den Praktiker von Bedeutung sind.

I.2.

Bei den kleineren Teilchen der kolloiddispersen Stoffe mit Korngrößen $< 10^{-4} - 10^{-5}$ m, aber auch den feinsten Pulver-Aktivkohlteilchen sowie den echt gelösten Stoffen (10^{-7} m) ist eine Abtrennung nicht mehr so trivial. Hier müssen erst durch Zugabe von Flockungsmitteln, wie Aluminium und Eisen(III)-Salze, größere, abtrennbare Flocken gebildet werden. Diese kann nun das Filter aufnehmen und so aus dem Wasser entfernen. Zu beachten ist dabei, dass die richtige Menge des richtigen Flockungsmittels am richtigen Ort dosiert werden muss. Dies muss unter Aufbringung maximaler Mischerenergieeffekte geschehen, z.B. durch möglichst hohe Turbulenzen und Quervermischungen im Rohwasserrohr (z.B. durch statische Mischer oder andere Störglieder). Weiter ist darauf zu achten, dass die eben gebildeten Flocken nicht wieder an Bögen, T-Stücken und Reduzierungen strömungstechnisch zerschlagen werden.
So ist es nach den Erfahrungen des Autors auch bei Einsatz von Pulver-Aktivkohle wichtiger, eine homogene Strömungsverteilung im Filter zu erzielen, als die geforderten 10 s Reaktionszeit bis ins Filter einzuhalten, was auch oft gar nicht möglich ist.
Denn ist das Filter entsprechend allen Vorschriften gebaut und aufgebaut, erhält man im Filterüberstau eine Reaktionszeit als Quotient aus der Höhe des Staumraums (hier 0,5 m) und der maximalen Filtergeschwindigkeit (30 m/h):
 $t = 0,5 \text{ m} / 30 \text{ m/h} = 0,016 \text{ h} = 1 \text{ Minute}$
also eine ausreichend lange Zeit von 1 Minute, bis die Flocke auf die Filteroberfläche auftrifft.

I.5. Filterspülung:

Es wird als wichtigste Grundvoraussetzung für eine gute Spülung hier noch einmal betont:

Die Filterspülung muss drucklos durchführbar sein!

Die DIN 19643 Teil 2 [1] schlägt im wesentlichen zwei Spülprogramme vor, die sowohl im Betrieb mit als auch ohne Pulver-Aktivkohle geeignet sind. Diese Richtwerte beziehen sich auf Korngrößen der meistens verwendeten Korngruppe 0,71-1,25 und auf eine definierte Referenztemperatur von 25 °C. Wie man bei anderen Wassertemperaturen zu verfahren hat, wird leider nicht deutlich.
Um dies verständlich zu machen, müssen wir jetzt leider etwas in die Theorie gehen.
Bei der Filterspülung wird Wasser von unten in das Filter eingebracht, um durch die Anströmung die einzelnen Filterkörner aus ihrem starren Verband zu lösen. Dieses Lösen durch Anheben der einzelnen Körner kann dann erzielt werden, wenn die Anströmgeschwindigkeit des Wassers gleich der Sinkgeschwindigkeit der Sandkörner ist.
Die zentrale Frage lautet also: wie hoch ist denn die Sinkgeschwindigkeit?

Technische Vorschriften für Filter

Zum Thema Filter existieren einschlägige Vorschriften oder entsprechende Hinweise und Vorschläge, die jedoch in der Praxis oft überhaupt nicht eingehalten werden. Vielleicht liegt es daran, daß diese Vorschriften und die meist aus praktischen Erfahrungen stammenden Hinweise nirgends in gebündelter Form vorliegen.
So sind teilweise Informationen über Aufbau, Funktion und Betrieb von Filtern in der heftig diskutierten, eben erst neu erschienenen DIN 19643 [1] enthalten, weitere Angaben sind jedoch aus den Normen DIN 19605 [2] und DIN 19623 [3] zu entnehmen.
Das ist verständlicherweise für den Praktiker, sei es nun der Planer, der Wassertechnik oder der im Bad Zuständige, sehr mühsam und auch noch unbefriedigend, da meistens nur unpräzise allgemeine Angaben gemacht werden. In der ersten genannten Norm wird darauf hingewiesen, dass „der Einfluss der Spülwassertemperatur auf die Spülwassergeschwindigkeit“ zu berücksichtigen ist. Wie das gehen soll, darüber schweigt sich die Norm dezent aus. Weiter will man sich in der eben genannten Norm zum Thema Spülprogramm überhaupt nicht festlegen. Die Angaben werden sogar als „Richtwerte“ bezeichnet und verstehen sich somit als unverbindliche Empfehlungen, was man normalerweise von einer Deutschen Norm nicht erwarten würde.
Vorbildlich hingegen sind die Angaben zum Filtrationsbetrieb. Hier werden Zahlen und Fakten genannt, die aus praktischen Erfahrungen und Untersuchungen [4,5] resultieren und auch in der Praxis zu vertreten sind. Selbst der für Schnellfilter nach DIN 19605 zu Süßwasser angegebene maximale Wert von 30 m/h Filtergeschwindigkeit ist mittlerweile akzeptiert worden, allerdings nicht immer ohne Zähneknirschen. Dies gilt auch für die 20 m/h bei Meer- und Brackwasser. Da aus den gesamten Untersuchungen bekannt ist, dass die Filterleistung unter Einhaltung der eben genannten Werte sehr gut ist, sind diese Werte zur Auslegung neuer und zu sanierender Filteranlagen heranzuziehen. Sicherlich wird der Platzbedarf für diese größeren Filter speziell bei Sanierungsmaßnahmen zum Teil erhebliche Probleme aufwerfen. Geht man hier jedoch dann auf Kompromisse ein, wird das in der Regel zu Problemen führen. [6]
Schließlich gilt es einen Punkt zu nennen, der vor Jahren in diesem Bericht sicherlich nicht breiter erwähnt worden wäre, da er für den Autor als Selbstverständlichkeit vorausgesetzt wurde: Die Filterspülung muss **drucklos** durchführbar sein!
Unvorstellbar aber wahr, es gibt immer noch sehr viele Filter, wo eine Spülung mit geöffnetem Mannloch zu einer wahren Flutkatastrophe im Technikeller führen würde. Also läst man diese stets geschlossen oder drosselt die Spülwassermengen. Das darf natürlich nicht sein. Die Schlammwasserableitung ist so zu dimensionieren, dass die für die Spülung notwendige Wassermenge problemlos ohne Überstau abfließen kann.

Die Sinkgeschwindigkeit von kleinen Partikeln wurde bereits von STOKES für laminare Strömungen (Reynoldszahl $Re < 100$) hergeleitet. Hier hängt die Sinkgeschwindigkeit im wesentlichen von der Reynoldszahl, also von den Geschwindigkeits-, Geometrie- und Viskositätsverhältnissen ab. Liegt diese unter $Re = 20$, kann diese Gleichung zum Ansatz gebracht werden und wird im weiteren als Stoke'sche Gleichung bezeichnet und verwendet.
Für turbulente Strömungen ($100 < Re < 3 \cdot 10^4$) greifen wir im weiteren auf die Newton'schen Gleichungen zurück. In diesem Zusammenhang sind für uns die überkritischen Strömungen ($Re > 3 \cdot 10^4$) nicht von Interesse.
In beiden Fällen ist demnach die Reynoldszahl eine wesentliche, bestimmende Größe. Dichteänderungen des Wassers in Folge von Temperaturunterschieden wirken sich zwar auch formal aus, sind allerdings aufgrund der Größenordnung von untergeordneter Bedeutung. (vgl. Bild 2. Dichte von Wasser in Abhängigkeit der Temperatur)
Die Reynoldszahl hängt nur von den Größen Geschwindigkeit, Durchmesser der Sande und der kinematischen Zähigkeit ab. Letzgenannte Größe ist das entscheidende Kriterium für die jeweiligen Sinkgeschwindigkeiten
Betrachten wir dazu das rheologische Verhalten von Wasser, so können wir es im allgemeinen als normalviskos oder Newton'sches Fluid bezeichnen. Newton'sche Fluide sind im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass Verformungen des Fluidelements beim Einwirken von Spannungen für alle Richtungen gleichartig und proportional zur Größe der Spannungen sind. Trotz der Einflüsse von Wasserinhaltsstoffen, wie chemische Additive, durch den Badegast eingebrachte Stoffe sowie die natürlichen Bestandteilen des Füllwassers, können wir dieses als Newton'sche Flüssigkeit annehmen. Das heißt, die scheinbare dynamische Zähigkeit η ist unabhängig von den jeweiligen Schubspannungen.
Dies klingt alles sehr kompliziert, ist aber sehr leicht zu erklären: Jeder hat schon einmal Honig mit einem Löffel aus einem Gefäß genommen, um beispielsweise Tee damit zu süßen. Da Honig schwer fließt, hat man sich meist damit beholfen, den Löffel mit dem daran haftenden Honig in die heiße Flüssigkeit zu tauchen. Durch die Temperaturerhöhung wurde der Honig weicher und floss schneller in die Tasse. Dieses so genannte Weichwerden entspricht exakt dem Zähigkeitsverhalten von Fluiden. Das heißt, eine Temperaturerhöhung reduziert die Zähigkeit des Fluids, eine Temperaturerniedrigung erhöht die Zähigkeit des Fluids.
Auf das zu bewegende Sandkorn im Filter bezogen bedeutet dies nichts anderes als:
Je wärmer das Spülwasser, desto kleiner ist die Krafteinwirkung auf das Korn bei gleicher Anströmgeschwindigkeit!
Somit ist uns die anfangs gemachte Feststellung, dass bei Warmwasser die Spülgeschwindigkeit erhöht werden muss, jetzt zumindest qualitativ verständlich.

1

I.3. Filterarten

Auf dem Schwimmbadmarkt gibt es eine Fülle verschiedener Filteranlagen. Obwohl nicht alle Ausführungen für die Aufbereitung in öffentlichen Schwimmbädern anzutreffen sind, sind in der nachfolgenden Zusammenstellung die am meisten verbreiteten Filtertypen [7] beschrieben.
-Kunststofffilter
Die einfachste Form der Filtration kann durch so genannte Kunststofffilter erfolgen. Hier unterscheidet man zwischen Schaumstoff- sowie Kerzen- oder Kartuschenfiltern. Die Verunreinigungen des Schwimmbeckenwassers werden durch Weichschaumstoff bzw. bei Kartuschenfiltern durch großbläuliche, feinporeige Kunststoff-Vlies-Elemente abgetrennt.
Aufgrund bisheriger Erfahrungen können diese Filtertypen aus wirtschaftlicher Sicht die technischen Anforderungen bei öffentlichen Bädern (noch) nicht erfüllen, sind allerdings in privaten Bädern häufig anzutreffen.
-Anschwemmfilter
Diese Filterart ist sehr häufig in der Schweiz, in Frankreich, in Canada [8] und mittlerweile auch oft in Deutschland anzutreffen. Das Grundprinzip dieser Filtertechnik ist bezeichnenderweise die Anschwemmung von Filterhilfsmitteln. Diese, in der Regel Diatomeen (Kieselgur), Perlite, aber auch andere werden alleine oder in Kombination mit Pulver-Aktivkohle [9] auf die Oberfläche einer Trägermatrix angeschwemmt. Das sehr feine, poröse Material bildet auf diesen Kunststoff- bzw. Metallmatrizes zum Teil mit Pulver-Aktivkohle dünne Filterschichten, die über Druck bzw. Vakuum aufgebaut wurden.
-Filter für die Wasseraufbereitung
Zur Wasseraufbereitung sind entsprechend DIN 19605 die so genannten Langsamfilter (Filtergeschwindigkeiten $V_f < 0,2$ m/h) und die so genannten Schnellfilter in geschlossener und offener Ausführung ($V_f < 20$ m/h) zugelassen. Diese Filter sind alle ähnlich aufgebaut, Langsamfilter allerdings eher selten in öffentlichen Bädern anzutreffen.
Nach DIN 19643 sind offene und geschlossene Schnellfilter sowohl als Einschnitt als auch in Mehrschichtfilterausführung für die Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser zugelassen. Allerdings hat man in DIN 19643 die maximal zulässige Filtergeschwindigkeit bis auf 30 m/h erhöht.
Die Filtration selbst erfolgt dabei beim Einschnittfilter über gleichartiges Filtermaterial einheitlicher Körnung und beim Mehrschichtfilter über verschiedenartiges Material unterschiedlicher Dichte und ggf. unterschiedlicher Körnung.
Details über Aufbau und Art dieser Filter finden sich in DIN 19643 Teil 2 [1] sowie DIN 19605 [2].

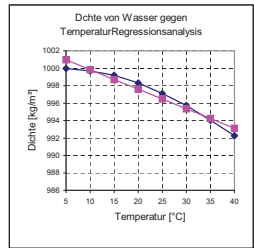
I.4.

Die Temperaturabhängigkeit der scheinbaren dynamischen Zähigkeit kann mit folgender Näherungsformel [12] angegeben werden:
$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\left(\frac{B}{C+T} - \frac{B}{C+T_0} \right)}$$

wobei bei Wasser: $B = 511,6 \text{ [K]}$, $C = -149,4 \text{ [K]}$, $T_0 = 273,12 \text{ [K]}$, $\eta_0 = 17,91 \cdot 10^{-4} \text{ [kg/(m}^2\text{s)]}$ oder $\text{[Pa}^2\text{s)]}$, $T = \text{Temperatur [K]}$
Berechnet man die jeweiligen Werte in einem Temperaturbereich von 10 bis 40 °C und zeichnet diese in Abhängigkeit der Temperatur auf, ergibt sich ein eindrucksvolles Bild (vgl. Bild 3) der starken Temperaturabhängigkeit des rheologischen Verhaltens von Wasser. So beträgt zum Beispiel der Wert der Zähigkeit bei 10 °C Wassertemperatur 0,0013 Pa*s, bei 30 °C Wassertemperatur hingegen nur noch ca. 0,0008 Pa*s, eine Reduzierung um fast 50 %.
Wie sich dies auf die Spülung auswirkt, wird durch die Gleichung von STOKES für laminare Strömungen deutlich, wenn diese für den Schwebezustand (Gewichtskraft = Auftriebskraft + Kraft nach Stoke'schem Gesetz), aufgelöst nach der Strömungsgeschwindigkeit ergibt:
Gleichung 2:

$$v_{\text{stokes}} = 2 (p_1 - p_2) \cdot g \cdot \frac{r^2}{\eta}$$

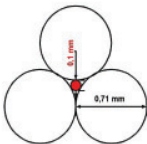
(I, Stoke)
wobei: $v = \text{Strömungs- / Sinkgeschwindigkeit [m/sec]}$, $p_1 = \text{Dichte der Kugel [kg/m}^3]$, $p_2 = \text{Dichte des Fluids [kg/cbm]}$, $g = \text{Fallbeschleunigung [m/sec}^2]$, $r = \text{radius Kugel [m]}$, $\eta = \text{dyn. Viskosität [Pa}^2\text{s]}$



I.4. Aufgabe der Filter

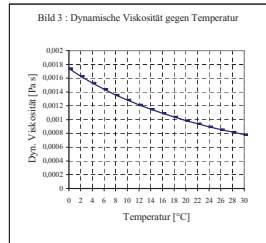
Filter von Schwimmbädern haben die Aufgabe, möglichst viel Schmutzstoffe, wie Trübstoffe, Kolloide und auch Mikroorganismen, aus dem Schwimmbeckenwasser zu entfernen. Das klingt sehr einfach, stellt sich allerdings in der Praxis nicht so einfach dar.
Betrachtet man beispielsweise die komplette Schadstoffmatrix eines Schwimmbeckenwassers, wird die komplexe Aufgabe des Filtersystems sehr deutlich. So ist die Entfernung von Schwimm- und Schwebstoffen im Bereich $> 10^{-7}$ m (1 mm) Korngröße kein großes Problem. Wählt man beispielsweise Filtersande 0,71 - 1,25 mm, so lassen sich durch die dort vorhandenen maximalen Zwischenräume Teilchen bis 10^{-7} m oder 0,1 mm problemlos abcheiden. Bild 1 stellt in 100-facher Vergrößerung 3 idealisierte Sandkörner mit 0,71 mm Durchmesser in dichtest möglicher Packung dar. Der dadurch entstehende Zwischenraum kann nur von Teilchen mit einem Durchmesser kleiner 0,1 mm passiert werden.

Bild 1. Sandkörner in dichtester Packung



Dieses Beispiel verdeutlicht allerdings auch, dass bei Zudosierung von Pulver-Aktivkohle das Schnellfilter sehr schnell zusetzen wird, wenn hier zu grobe Pulver-Aktivkohle eingesetzt wird (Korngrößen $> 0,1$ mm oder 100 µm). Es sollen daher nur Aktivkohlen nach DIN 19643 und DIN 19603 [11] aus dem Fachhandel eingesetzt werden.
Weiter sehen wir, dass bei schlechter Qualität des Filtermaterials und einem sehr hohen Feinanteil diese Zwischenräume noch viel kleiner werden. Diese feinen Kornfraktionen scheiden sich bei der Spülung oben im Filter ab, das Filter wird sich bei gleicher Rohwasserbelastung logischerweise viel schneller zusetzen. Es ist also bei der Beschaffung dringend darauf zu achten, dass der Anteil an Feinfraktion so gering wie möglich ist. [10]
Die Beschaffung sollte nicht aus der Kiesgrube oder aus dem Baumarkt, sondern über den Fachhandel erfolgen. Denn hat man das Filter erst einmal mit ungeeignetem Material bestückt, hilft nur noch manuelles Abtragen der oberen Schichten.

2



Eine Halbierung der Viskosität hat laut dieser Gleichung eine Verdoppelung der Sink- und somit Rücksplügeschwindigkeit zur Folge.
Diese Gleichung gilt für laminare Strömung, also Reynoldszahlen $Re < 20$.
Bei größeren Reynoldszahlen, also höheren Strömungsgeschwindigkeiten, hingegen gilt folgende Beziehung nach Newton:

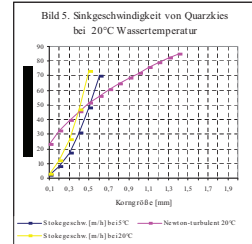
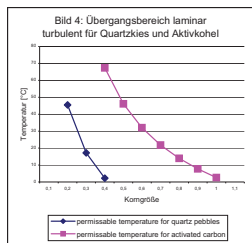
$$\text{Gleichung 3: } v = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot 2r \cdot \frac{p_1 - p_2}{p_2} \cdot g} \quad (\text{II Newton})$$

wobei: $C = \text{Widerstandskoeffizient, dimensionslos, in der Literatur [13,14] mit 0,47 angegeben für } Re < 1,5 \cdot 10^5$

Beide Gleichungen machen deutlich, dass die Abhängigkeit der Sinkgeschwindigkeit von der Temperatur sicherlich bei der laminaren Strömung stärker sein dürfte als bei der turbulenten, da hier eigentlich kein Term mit Viskositätsangaben zu finden ist. Dazu muss allerdings bemerkt werden, dass in diesem Fall gleiche strömungsmechanische Effekte nur bei gleichen Reynoldszahlen auftreten. Unterschiedliche Wassertemperaturen spielen also indirekt auch hier, wenn auch nicht in diesem Maße, eine Rolle.
Anhand der Darstellung in Bild 4 wird deutlich, wo die Übergangs- und Abhängigkeitsbereiche für verschiedene Filtermaterialien liegen. So sehen wir am Beispiel von Filtersanden (Korn-Rohdichte: 2,6 kg/l), dass laminare Effekte nur bis Korngrößen von etwa 0,3 mm und Rücksplütemperaturen bis 20°C zu erwarten sind. Hingegen treten bei Korn-Aktivkohle (Dichte benetzt: 1,1 kg/l) laminare Effekte bei diesen Wassertemperaturen noch bis Korngrößen von 0,7 mm auf. Bei höheren Temperaturen und Korngrößen kommen wir bereits in den Newton-Bereich.
Bild 5 verdeutlicht am Beispiel von Filtersand und Wassertemperaturen von 5° und 20 °C den Übergang laminar turbulent bei Korngrößen zwischen 0,3 mm und 0,5 mm. Die Geschwindigkeiten sind hier bereits auf die Netto-Filterfläche normiert.

4

3



Natürlich ergeben sich auch bei größeren Körnern im Bereich der turbulenten Strömungen erhebliche Unterschiede für abweichende Wassertemperaturen. Betrachten wir dieses Diagramm genauer, wird deutlich, dass bei einer Temperatur von 20 °C Sandkörner mit 0,4 mm Durchmesser mit ca. 47 m/h, bei 5 °C hingegen nur noch mit ca. 31 m/h rückgespült werden müssen. Nehmen wir als Beispiel ein Sandfilter mit 2 m Durchmesser, ist für diese Körnung eine Spülwassermenge von 147 cm³/h bei 20 °C Wassertemperatur notwendig. Würde man hier mit 5 °C Wassertemperatur rückspülen, müßte nur noch mit 97 cm³/h gespült werden, also 30% weniger!

Teil II: Betrieb von geschlossenen Schnellfiltern

II.1 Einleitung

Im I Teil wurden ausführlich allgemeine Informationen zum Thema Filter in der Wasseraufbereitung diskutiert und die theoretischen Grundlagen zum Verständnis dargestellt. Teil II gefasst sich detailliert mit dem strömungsmechanischen Verhalten verschiedener Filtermaterialien beim Rückspülen, in Abhängigkeit von der Wassertemperatur. Es wird dargestellt, wie sich die frei durchströmbar „Netto-Filterflächen“ für verschiedene Körnungen einfach bestimmen lassen und wie die notwendigen Spülgeschwindigkeiten abgeschätzt werden können.

II.2 Die zugrunde zu legenden Gleichungen

Drei der vier für die weiteren Betrachtungen grundlegenden Gleichungen wurden ausführlich im Teil I.5 (Gleichung 1 - 3) diskutiert. Zu Gleichung 3 (Sinkgeschwindigkeit für turbulente Strömungen nach NEWTON, $Re > 20$, wobei c_w = Widerstandskoeffizient, dimensionslos, für Kugeln in der Literatur [13,14] mit 0,47 angegeben soll darauf hingewiesen werden: In unseren Versuchen mit Sandkörnern hat sich ein tatsächlicher c_w Wert von 1,35 ergeben. Diese Abweichung erklärt sich durch die nicht kugelige Form von Filtersanden. In den folgenden Gleichungen wird dieser tatsächliche Wert für $100 < Re < 1,5 \cdot 10^5$ benutzt. Experimente haben in Übereinstimmung mit der Theorie bewiesen, dass bei Reynoldszahlen größer 20 sich erstmals auf der Hinterseite des Filterkorns Wirbel bilden und auflösen. Bei noch höheren Reynoldszahlen ($Re > 100$) wird die Strömung hinter der Abloselstelle turbulent. Dies bewirkt natürlich einen höheren Widerstand, als den bei der laminaren Strömung. [15]

Es wird noch die Gleichung von H.G. Moll [16] ergänzt, die als Bestimmungsgleichung hinreichender Spülgeschwindigkeiten für Kies und andere Filtermedien zum Vergleich herangezogen werden soll. Diese Gleichung hat der Autor für kugelförmige Sand- bzw. Kieskörner ermittelt. Sie ist, nach seinen Angaben, auch für andere Filtermaterialien hinreichend genau. In diesem Bericht wird die Moll'sche Gleichung allerdings mit dem Unterschied verwendet, dass wir die Viskosität nicht als konstant ($\nu = 0,0115 \text{ cm}^2/\text{s}$) sondern als temperaturabhängig betrachten. Danach lautet die Gleichung nach Moll leicht umgeformt:

Gleichung 4:

$$c_k = \frac{v(T)}{d_k} \cdot \sqrt{16,36^2 + d_k^2} \cdot 0,278 \cdot \frac{1}{v(T)^2} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1} - 16,36$$

wobei: c_k = Spülgeschwindigkeit [m/sec], ρ_1 = Dichte der Kugel [kg/m³], ρ_2 = Dichte des Fluids [kg/m³], d_k = Durchmesser Kugel [m], $v(T)$ = kinem. Viskosität [m²/s], temperaturabhängig

II.3 Ermittlung typischer Kurvenscharen für verschiedene Filtermaterialien

Mit diesen 4 Gleichungen und der Definition der Reynoldszahl können für sämtliche Filtermaterialien typische, theoretische Kurvenscharen ermittelt werden.

Für die Korngröße 0,71 mm eines Sandfilters mit Quarzsandfüllung berechnen wir die notwendige Spülgeschwindigkeit (oder Sinkgeschwindigkeit) in Abhängigkeit von der Temperatur (vgl. Bild 6). Bei einer Wassertemperatur von +10 °C ist demnach eine Spülgeschwindigkeit von ca. 500 m/h notwendig.

5

Bei 30 °C warmen Spülwasser erhöht sich die notwendige Spülgeschwindigkeit bereits auf ca. 800 m/h. Betrachten wir nun die Korngröße 1,25 mm, bekommen wir ein ähnliches Bild. Bei 10°C benötigen wir 650 m/h, bei 30°C bereits 1070 m/h, eine annähernde Verdoppelung der Spülgeschwindigkeiten. Das sind viel zu hohe Werte, werden Sie jetzt sagen. Wir spülen normalerweise mit maximal 60 m/h! Das übliche Dilemma zwischen Theorie und Praxis? Nein, sicherlich nicht. Betrachten wir die tatsächlichen Strömungsverhältnisse im Filter einmal etwas genauer. Die Spülgeschwindigkeit 60 m/h bezieht sich auf die gesamte freie Filterfläche. Diese Fläche wird allerdings durch die Filterfüllung zu einem erheblichen Teil blockiert und ist viel kleiner. Somit ist die tatsächliche Strömungsgeschwindigkeit im Filter höher. Um zu bestätigen, dass die oben genannte Näherungsformel tatsächlich realistische Werte ergibt, wollen wir nun untersuchen, wie groß die tatsächliche frei durchströmte Fläche in einem Sandfilter ist.

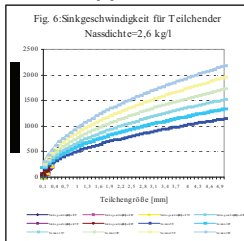
Dazu müssen wir folgende Vereinfachung treffen:

- Die geometrische Form der zu betrachtenden Filterpartikel wird als Kugel angenommen.
- Es wird vorausgesetzt, dass die einzelnen, jeweils senkrecht durchströmten Horizontalebenen des Filters, durch die Klassierung beim Rückspülen homogen geschichtet sind. Das heißt, es existieren nur Schichten gleicher Korndurchmesser bei dichtester Kugelpackung.

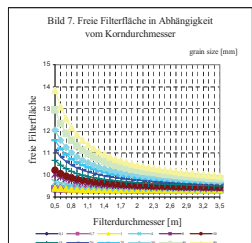
Vereinfachen wir nun die Kreisfläche des Sandfilters zu einer Quadratform, so lässt sich für jeden Korndurchmesser eine maximale mögliche Anzahl n Körner ermitteln:

$$\text{Gleichung 5: } n = (L/d) \cdot (L/\sin(\pi/3)) \cdot (1/d)$$

wobei n = Anzahl der Körner, L = Seitenlänge der zum Quadrat reduzierten Filterfläche [m], d = Korndurchmesser [m]



Aus dieser Näherungsgleichung kann die durch die Kugeln blockierte Fläche berechnet werden. Bild 7 stellt für verschiedene Korngrößen die resultierenden Netto-Filterflächen dar.



Für Korngrößen bis 1 mm Durchmesser ergeben sich unabhängig vom jeweiligen Filterdurchmesser nahezu konstante Netto-Filterflächen in der Größenordnung von 9,3 %.

Jetzt wird auch sehr schnell klar, dass die im Vorfeld berechneten Spülgeschwindigkeiten sehr realistisch sind. Denn eine auf 10 % reduzierte, frei durchströmbar Netto-Filterfläche bedeutet eine tatsächliche Spülgeschwindigkeit innerhalb des Filterkuchens, die um den Faktor 10 höher liegt als die auf den gesamten Querschnitt bezogene Spülgeschwindigkeit, gültig für alle Temperaturbereiche.

$$\text{Gleichung 6: } v_{\text{net}} = v_{\text{qpt}} \cdot 1/(A_n \cdot 100)$$

wobei v_{qpt} = Spülgeschwindigkeit bez. auf den Filterquerschnitt, A_n = Nettofilterfläche [%] = f (Filterdurchmesser und Korndurchmesser)

Zur Veranschaulichung betrachten wir ein Filter mit 2 m Durchmesser und berechnen die frei durchströmbar Fläche bei Körnern mit 0,7 mm Durchmesser. Hier ergibt sich eine Filterfläche von 3,14 m² und eine durch die Filterkörner blockierte Fläche von 2,85 m². So entspricht dies einer Nettofläche von 0,29 m² (3,14 m² Filterfläche * 9,3 %). Werden die Korndurchmesser größer, beispielsweise bei den Stützschieben, ergeben sich natürlich größere Nettoflächen. Für die praktische, schnelle Auslegung der tatsächlichen Spülgeschwindigkeit kann der Faktor 10 als hinreichend genau herangezogen werden.

Somit können mit Gleichung 5 die eigenen Ansätze nach STOKES und REYNOLD auf die Nettofläche normiert werden. Die daraus resultierenden, tatsächlich in den einzelnen Filterschichten auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten liegen jetzt in den uns bekannten Bereichen. Unbeeinflusst bleibt die Gleichung von Moll.

So sind in den Bildern 8 und 10 die tatsächlichen Sinkgeschwindigkeiten nach eigenen Ansätzen und dem modifizierten Ansatz nach Moll für die drei häufigsten Filtermaterialien dargestellt: Quarzkies (Nassdichte 2,6 kg/l), Korn-Aktivkohle 1-3 mm und Everzit Spezial (Nassdichte jeweils 1,1 kg/l) sowie

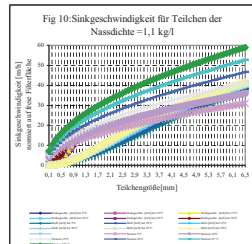
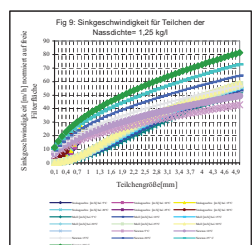
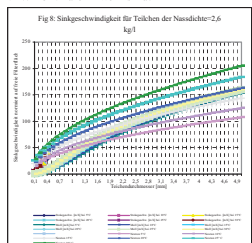
6

Korn-Aktivkohle 3-5 mm und Filteranthrazit H/N (Nassdichte jeweils 1,25 kg/l).

Als Nassdichte verstehen wir die tatsächliche Dichte der gewässerten, also „nassen“ Filtermaterialien. Speziell bei hochporösen Stoffen wie Korn-Aktivkohlen und auch Filterkohlen auf Braunkohlebasis unterscheidet sich dieser Wert erheblich von den Dichteangaben der Hersteller. Da von den meisten Herstellern leider keine Angaben zu den Nassdichten gemacht werden, haben wir diese selber empirisch ermittelt. Diese Werte können selbstverständlich je nach verwendetem Rohmaterial stark variieren. Betrachten wir zunächst das Filtermaterial Quarzsand, da uns hier die meisten empirischen Erfahrungen vorliegen (Bild 8). Bei Korngrößen von 0,71 mm errechnen wir nach Newton Zink- bzw. Spülgeschwindigkeiten von 48 m/h bei 10°C Spülwassertemperatur und bereits 75 m/h bei 30°C Wassertemperatur. Dies wird durch unsere praktische Erfahrung sehr gut bestätigt. Vergleichen wir dagegen diese Werte mit denen nach Moll, so ergeben sich hier bei gleichen Spültemperaturen wesentlich niedrigere (10 m/h bei 10°C und 25 m/h bei 30°C) Spülgeschwindigkeiten. Erst bei Korndurchmessern ab ca. 1,5 mm nähern sich die Ergebnisse nach Moll, der im Übrigen vom wirksamen Durchmesser der Filtermaterialien ausgeht, unseren Werten an. Der Bereich unserer Ansätze nach STOKES fällt hier, wir hatten darauf bereits im Teil I hingewiesen, erst bei Korngrößen unter 0,3 mm ins Gewicht und ist deshalb nicht weiter von Interesse.

Für Sandfilter ist also die Spülgeschwindigkeiten nach Newton zu ermitteln: Beispielsweise ergibt sich für Korngrößen von 1,0 mm und einer Spülwassertemperatur von 20 °C eine erforderliche Spülwassergeschwindigkeit von ca. 70 m/h (beim Abszissenwert: 1,0 mm, Parallel zur Ordinate, im Schnittpunkt mit NEWTON 20° C Parallel zur Abszisse ergibt ca. 70 m/h).

Muss man mit 30° spülen, erhöht sich hier die erforderliche Spülgeschwindigkeit um fast 30 % auf ca. 90 m/h! Betrachten wir als nächstes Filtermaterial mit Nassdichten von 1,25 kg/l wie z.B. Aktivkohle oder Filteranthrazit H und N (Bild 4). Auch hier können wir feststellen, daß die Spülgeschwindigkeiten typischer Füllungen nach NEWTON zu ermitteln sind.



Bei Korngrößen von 1 mm errechnen wir nach Newton Spülgeschwindigkeiten von ca. 22 m/h bei 10°C Spülwassertemperatur und ca. 36 m/h bei 30°C Wassertemperatur. Auch hier liegen die nach Moll ermittelten Werte wesentlich niedriger und nähern sich erst ab 2,1 mm Durchmesser unseren Daten an. Beispielsweise ergibt sich für Korngrößen von 1,0 mm und einer Spülwassertemperatur von 20 °C eine erforderliche Spülwassergeschwindigkeit von ca. 28 m/h. Muss man mit 30° spülen, erhöht sich hier die erforderliche Spülgeschwindigkeit um ca. 27 % auf ca. 36 m/h!

Filtermaterial mit Nassdichten von 1,1 kg/l wie z.B. Aktivkohle oder Filteranthrazit H und N sind in Bild 10 dargestellt. Wie bereits in den ersten beiden Beispielen stellen wir fest, dass die Spülgeschwindigkeiten typischer Füllungen nach NEWTON zu ermitteln sind. Bei Korngrößen von 1 mm errechnen wir nach Newton Spülgeschwindigkeiten von ca. 14 m/h bei 10°C Spülwassertemperatur und ca. 23 m/h bei 30°C Wassertemperatur. Auch hier liegen die nach Moll ermittelten Werte wesentlich niedriger und nähern sich erst ab 3 mm Partikeldurchmesser unseren Daten an. Beispielsweise ergibt sich für Korngrößen von 1,0 mm und einer Spülwassertemperatur von 20 °C eine erforderliche Spülwassergeschwindigkeit von ca. 18 m/h.

7

II.3 Zusammenfassung:

Spülgeschwindigkeiten zur fachgerechten Spülung von Filtern hängen, neben der Dichte der jeweiligen Filterfüllung, sehr stark von der Spülwassertemperatur ab. So muss bereits bei einer um 10° C erhöhten Spülwassertemperatur die Spülgeschwindigkeit um ca. 25 % erhöht werden, um die gewünschten Spülflekte zu erzielen. Dies wirkt sich natürlich auf den Spülwasserverbrauch im gleichen Maße aus. Oder umgekehrt betrachtet, bewirkt die Reduzierung der Spülgeschwindigkeit von beispielsweise 30° C auf 20° C, eine Reduzierung der jetzt nur noch notwendigen Spülgeschwindigkeit um ca. 23%.

Bezogen auf ein Filter mit 2 m Durchmesser bedeutet dies eine Reduzierung der Spülwassermenge von 113 m³/h bei 30° C auf 88 m³/h bei 20° C Spülwassertemperatur. Legt man eine übliche Spüldauer von 5 Minuten zugrunde, ergibt sich für diese Filtergröße ein Einsparpotential von ca. 2 m³ pro Filterspülung allein beim Wasserverbrauch. Nimmt man eine Filterfläche von 15 m² für ein durchschnittliches, öffentliches Bad an, ergibt sich hier ein Einsparungspotential von 10 m³ pro Spülung! Die darüber hinaus mögliche Einsparung von Primärenergie muss nicht explizit erwähnt werden. Aus dieser Sicht ist es sowohl aus energetischen Gründen, als auch zur Schonung von Ressourcen sinnvoll, Filter mit möglichst geringer Spülwassertemperatur zu spülen. Spülen sollte man allerdings nicht mit Frischwasser. Das ist normalerweise zwar kalt, wird jedoch wesentlich nötiger zur Nachspülung des Beckenwassers gebraucht. Darüber hinaus kann es zur Ausfällung der dort natürlich vorhandenen Karbonathärte im Filter kommen.

Literaturangaben:

- [1] DIN 19643-1 bis 4 (April 1997): Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser
- [2] DIN 19605 (September 1975): Filter zur Wasseraufbereitung
- [3] DIN 19623 (Januar 1978): Filtersande und Filterkiese für Wasserreinigungsfiler
- [4] Prof. Dr. A. Grohmann, Dr. H. Bartel „Einsatz von Aktivkohle im Stadtbad-Lankwitz“ Bericht des Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin 1989/1990
- [5] Prof. Dr. A. Grohmann, Dipl.-Ing. J. Renzehausen „Einsatz von Pulveraktivkohle bei der Aufbereitung von Schwimmbadwasser“ aufbereitung im Stadtbad Lankwitz, Prüfung zweier Pulveraktivkohledeionisierungsanlagen sowie Vergleich zweier verschiedener Pulveraktivkohlesorten im praktischen Einsatz“ Zwischenbericht des Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin 1993/1994

[6] ETC Firmenunterlagen zum System CHLORTRANSORBBER und zur Pulver-Aktivkohle ADSORBA

[7] Christoph Saunus, „Planung von Schwimmbädern“, Krammer Verlag Düsseldorf AG, 1998, ISBN 3-88382-049-0

[8] Konsequenzen für die Aufbereitungstechnik von Schwimm- und Badebeckenwasser durch die Novellierung der Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift § 7a, Anhang 31 WHG, Fachseminar der Firma ETC GmbH in Bad Salzhäusen, vom 15. Mai 1995

[9] Prof. Dr. Daniel Pacic, „Einfluss verschiedener Filterhilfsmittel, Zusatzhilfsstoffe und deren Gemische auf die physikalisch-chemische sowie mikrobiologische Beschaffenheit der mittels Anschwemmfiltration aufbereiteten Schwimm- und Badebeckenwässer“ Dissertation, Fakultät für Bauwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1986

[10] Firma Busch Quarz GmbH, „Quarzfraktionen“, Werksbroschüre, 92250 Schnaittenbach 5. Auflage 1993

[11] DIN 19603 (Mai 1969): Aktivkohle zur Wasseraufbereitung

[12] Skriptum zur Strömungsmechanik I, Lehrstuhl für Strömungsmechanik TU-München, Prof. B. Laschka, 1986

[13] Prof. Dr. Helmut Gerthsen, Kneser, Vogel, „Physik“, 14. Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1982, S. 107 ff.

[14] F. Saas, Ch. Bouché, A. Leimer, „Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau“, 13. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1970, S. 321 ff.

[15] Veniamin G. Levich, „Physicochemical Hydrodynamics“, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 1962, S. 35 ff, S. 80 ff.

[16] Moll, H.G. Über das Rückspülen von Mehrschichtfiltern, gwf-wasser/abwasser 121 (1980) H.1, S. 15ff

A.B. Archiv de Badewesen 09.2001

8