

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 101 (1983)
Heft: 51/52

Artikel: Flockungsfiltration als vierte Reinigungsstufe
Autor: Gros, Henry / Moser, Jakob
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75255>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der *Feinheitsgrad* und die *Prioritäten* der Terminkontrolle sind dem Aufgabenkreis anzupassen. Einzelne Tage spielen für die Projektleitung selten eine Rolle, hingegen ist sie bei der Erreichung der Meilensteine möglichst unnachgiebig. Späte Kontrollen nützen wenig, Korrekturen sind anzubringen, wenn *Zwischentermine* nicht erreicht werden. Die repetitiven Arbeiten (z. B. Beckenbau, Verkleidung Hochkanal, Behälterbau) sind einfacher zu überwachen, weil der Zeitaufwand für die ersten Etappen einen klaren Hinweis auf den gesamten Zeitaufwand geben. Die Projektierungstermine können über die Koordinationsitzungen und die Planlieferungsprogramme überwacht werden. Die Pendenzenlisten bieten Gewähr, dass keine pendenten Geschäfte vergessen gehen.

Ausblick

Kostenüberwachung

Während der fast unvermeidlichen Hektik beim Abschluss eines Grossprojektes läuft die *Kostendisziplin* der Beteiligten Gefahr, bedenklich nachzulassen. Die beginnende betriebliche Opti-

mierung der Anlage kann ausserdem zu *Anpassungs- und Verbesserungswünschen* führen, deren Finanzierung über den Projektkredit zwar die bequemste, aber nicht immer angemessene Lösung darstellt. Im letzten Augenblick kann so ein Projekt noch in *Kostenturbulenzen* geraten.

Dieser Gefahr wird insofern entgegnet, dass weitergehende Forderungen sehr sorgfältig geprüft werden. Das *Restrisiko* im Kostenbereich kann durch etappenweises Abschliessen der Bautätigkeit und sofort anschliessendes Abrechnen immer besser analysiert und abgegrenzt werden.

Terminüberwachung

Die Ausgangslage und die Etappen der Inbetriebsetzung sowie die Zusammenarbeit von Projekt- und Betriebsorganisation in der Betriebsphase eines Anlageteils sind allgemein definiert worden. Je Teilinbetriebsetzung sind folgende Etappen gewählt worden:

- Funktionskontrollen
- Trockentest
- Nasstest
- Einfahren
- Probetrieb.

Nach etwa 2-4 Wochen Probetrieb ohne wesentliche Störungen beginnt

Literaturnachweis

- [1] *Wiesmann, J. und Kiefer, H.-J.* (1982): «Kläranlage Werdhölzli, Erweiterung 1980/85, Das Projekt», Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 13, S. 233-242, Zürich
- [2] *Wiesmann, J., Knöpfel, H. und Kiefer, H.-J.* (1983): «Kläranlage Werdhölzli, Erweiterung 1980/85, Projektorganisation», Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 51/52, Zürich
- [3] *Held, H.* (1979): «AZAD, Programm für die Bauadministration», internes Handbuch
- [4] Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung (1983): «Baukostenplan», Zürich
- [5] *Pozzi, A.* (1980): «Schlussfolgerungen zum Thema Management in der Planung und Ausführung grosser Bauvorhaben», Proc. 11. IVBH-Kongress, S. 339-344, Wien
- [6] *Knoepfel, H.* (1979): «A Model for Industrial Building Project Schedules», Proc. 6th Internet World Congress, pp. 219-233, Garmisch-Partenkirchen

der Betrieb. Das Gewicht verschiebt sich von der Koordination Detailprojekt-Genehmigung-Ausführung auf die Koordination Fertigstellung-Prüfung-Inbetriebsetzung.

Adressen der Verfasser: *H. Held*, dipl. Arch. ETH/SIA, Direktor, Institut für Bauberatung AG, C.-F.-Meyer-Strasse 14, 8002 Zürich, und *Dr. H. Knöpfel*, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Flockungsfiltration als vierte Reinigungsstufe

Von Henry Gros und Jakob Moser, Winterthur

Aufgabe und Konzept

Die Flockungsfiltration bildet die *letzte Stufe* im ganzen Abwasserreinigungsprozess der Kläranlage Werdhölzli. Man spricht von der vierten Reinigungsstufe. Zur Anwendung gelangen offene Zweischicht-Raumfilter, die aus 2 Schichten körniger Medien bestehen (Bild 1).

Die Filter werden als *Flockungsfiltration* betrieben. Durch Zugabe eines geeigneten Fällmittels (Eisensalze), das vor und im Filterprozess ausflockt, kann ein grosser Teil des noch vorhandenen, gelösten Phosphors in partikuläre (ungelöste) Form übergeführt und so in den Filtern ausgeschieden werden. Gleichzeitig erhöhen sich die Eliminationsleistungen der Filtration. Neben den Schwebestoffen, die weitgehend eli-

miniert werden, sind es auch Kolloidstoffe, gewisse organische Spurensbstanz, Keime, Schwermetalle usw., die dabei in den Filtern bei kleinen Druckverlusten zurückgehalten werden.

Im Anschluss an die voll nitrifizierende biologische 3. Stufe mit Simultanfällung der Kläranlage Werdhölzli sind somit nach der Flockungsfiltration folgende, *geforderte Abflusswerte* problemlos zu erreichen [1, 2, 3]:

Absetzbare Stoffe	< 0,1 ml/l
Schwebestoffe	< 5 g SS/m ³
Phosphor gesamt	< 1 g P _{tot} /m ³
Biologischer Sauerstoffbedarf	< 5 g BSB ₅ /m ³
Ammonium-Stickstoff	< 2 g NH ₄ -N/m ³
gelöster, organischer Kohlenstoff	< 10 g DOC/m ³

Anforderungen an die Verfahrenstechnik

Die Flockungsfiltration über körnige Medien wurde bis heute vor allem in der Wasseraufbereitung eingesetzt. Die *weitergehende Abwasserreinigung* stellt aber der Filtration neue und hohe Anforderungen. Im Ablauf einer Kläranlage treten nämlich starke Schwankungen auf. Dieser Umstand und die Zugabe gewisser Hilfssubstanzen (wie z. B. Fällmittel, Flockungsmittel und evtl. sogar Adsorptionsmittel) verlangen eine *genaue Optimierung der Parameter* der Filter auf dieser Verfahrensweise. Andererseits sind im Wasser organische Substanzen und Mikroorganismen (Bakterien, Protozoen usw.) anwesend, die sich mit Vorliebe an die Körner des Filtermediums anlagern. Deshalb müssen die *Rückspülungen* mit besonders hoher Leistungsfähigkeit durchgeführt werden können.

Der Filtrationsbetrieb und die Rückspülung sind eigentlich die beiden gekoppelten Phasen der zu erzielenden Schwebestoffrückhaltung und Schwebestoffaufkonzentrierung. Die Optimierung des Filters muss auf beide gleichzeitig Rücksicht nehmen. Das *Konzept*

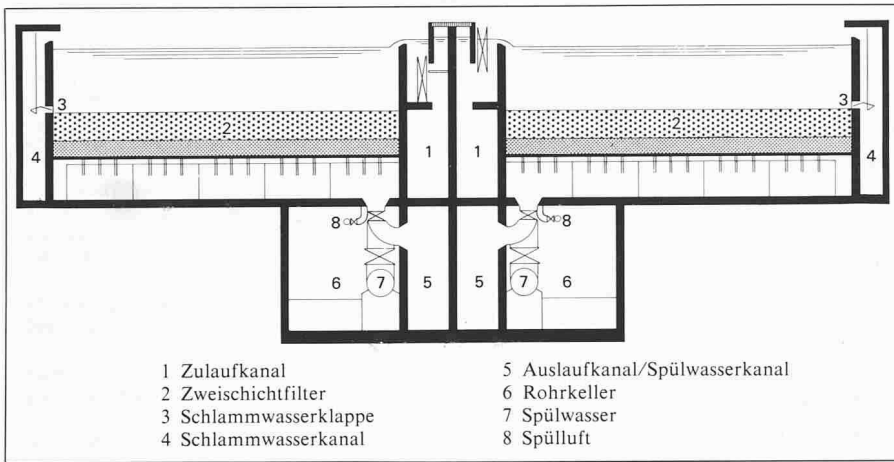


Bild 1. Die Flockungsfiltration der Kläranlage Werdhölzli (Schnitt)

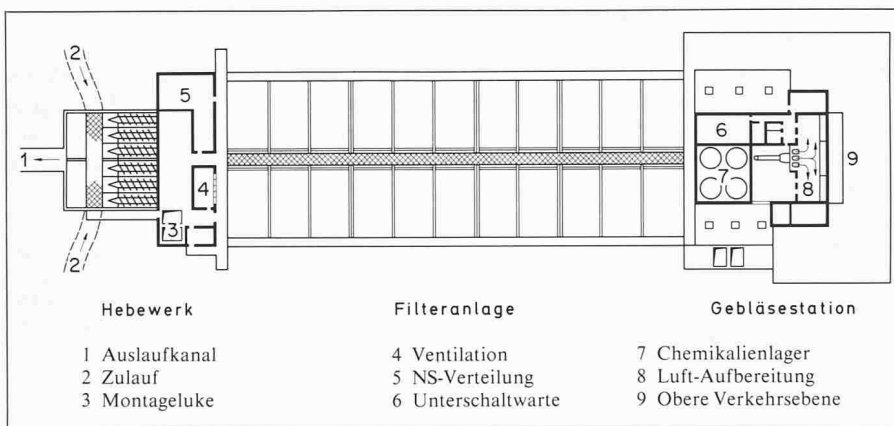


Bild 2. Die Flockungsfiltrationsanlage der Kläranlage Werdhölzli (Disposition)

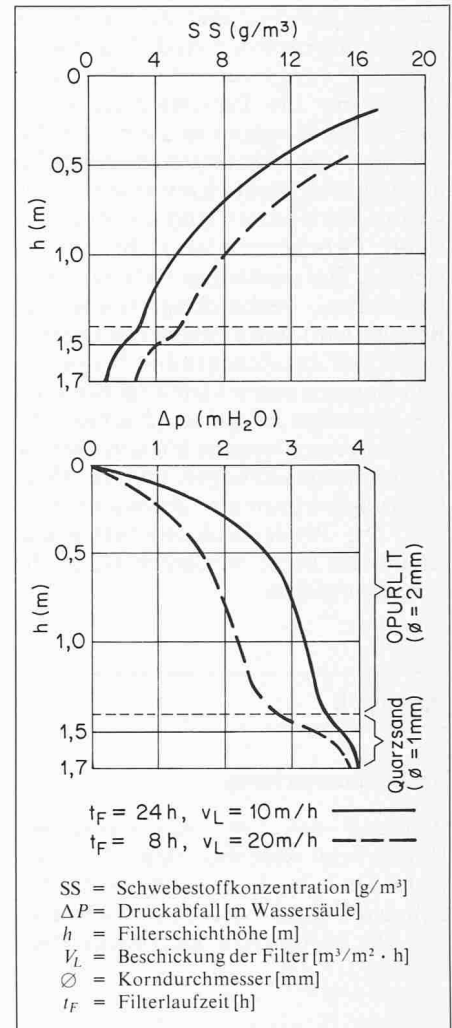


Bild 3. Typischer Verlauf der Schwebstoffkonzentration und des Druckabfalles bei der Flockungsfiltration im Fall Werdhölzli

der Raumfiltration entspricht solchen Optimierungskriterien. Es ermöglicht die bei der weitergehenden Abwasserreinigung notwendigen, hohen Belastungen und Leistungen. Dabei ist der Schlammwasseranfall dank einer effizienten Rückspültechnologie minimal.

Die grossen Schichttiefen von 1,7 m, die in der Kläranlage Werdhölzli Anwendung finden (Bild 3), erlauben einen flexiblen Betrieb des Filters. Somit erübrigt sich bei der Flockungsfiltration einerseits die Zugabe von Polyelektrolyt bis zu Beschickungen über 12 m/h. Andererseits kann die Flockungsfiltration bei Verwendung von Polyelektrolyt bis zu über 20 m/h betrieben werden.

Die Filtrationsprofile in Bild 3 geben ein Beispiel dieser Flexibilität. Die betrachteten Beschickungen entsprechen den starken Durchsatzschwankungen zwischen Trockenwetter- und Regenwetteranfall. Die Filtrationsmechanismen des 2-Schicht-Filters sind daraus sichtbar:

- bei 20 m/h die über beide Schichten gut verteilte Filtrationswirkung

- bei 10m/h die Wirkung der untersten Filterschicht auf die feineren und kolloidalen Schwebestoffe.

Die Betriebskosten der Filtration sind abhängig vom (maximalen) Druckabfall über das Filter, von der Fäll- und Flockungsmittelzugabe und vom Rückspülwasserverbrauch. Alle drei Parameter sind allerdings zusammenhängend. Höhere mögliche Druckabfälle erlauben nämlich wiederum kleinere Spülwasserverbräuche und höhere Fällmittelzugaben. Letztere bewirken ihrerseits Einsparungen am Gesamtfällmittelverbrauch (s. Dephosphatation), die wesentlich höher liegen als die erforderlichen Pumpkosten [4].

Technologie, Rückspülung

Die Technologie, d. h. der anlagentechnische Aspekt der Filtration, ist einerseits durch die Wahl der Flockungs- und Filtrationsparameter beeinflusst: Art und Höhe der Filterschichten, Beschickung, Fällmittelmenge, Regulierung der Zu- und Abflüsse usw. Im wesentlichen wird die Technologie aber von der Rückspülung geprägt (Bild 4). Dies

schliesst mit ein: die äussere Dimension der Filter, ihre Anzahl pro Spülaggregat (Spülpumpe, Gebläse), die Technologie der Verteilung der Spülmedien (Luft, Luft + Wasser, Wasser), hier mit Düsen und Düsenboden, und die Technologie der Schlammwasserentleerung, hier in zwei Takten mit Aufstauspülung, d. h. Schlammwasseraufstau oberhalb der Filter und Entleerung über die innenliegende Schlammwasserklappe.

Der Düsenboden muss für eine einwandfreie Verteilung der Spülmedien über die ganze Filterfläche sorgen, da sonst die Gefahr von toten Zonen und von lokalen Verklumpungen des Filtermediums auftreten kann.

Diese Spültechnologie hat viele massgebende Vorteile, u. a.:

- grosse Flexibilität in der Wahl der Reihenfolge und der Beschickung der Spülmedien
- Möglichkeit einer Wasser-Luft-Spülphase mit verschiedenen Medien und hohen Filterschichten
- Verhinderung jeglicher Verluste an Filtermedien während der Schlammwasserentleerung.

Die Steuerung der Spülung erfolgt im Werdhölzli über einen einfachen Mikroprozessor, was eine grosse Flexibilität für ihre Optimierung an die spezifischen Gegebenheiten mit sich bringt.

Ein typisches Beispiel der erreichten Schwebestoffkonzentration im Schlammwasser nach jeder Spülphase demonstriert die Leistungsfähigkeit der Aufstauspülung. Die Luft und Luft-Wasser-Phasen, welche die intensivste Reibungswirkung der Filterkörner untereinander bewirken, erfolgen zuerst. Die anschliessenden Wasserphasen bringen beide Filterschichten in Schwebezustand, so dass die weggeriebenen Schmutzpartikel restlos entfernt werden. Gleichzeitig erfolgt auch wieder eine Einschichtung beider Filtermedienschichten. Für die Rückspülung der Filter sind etwa $6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ Spülwasser notwendig. Eine Wiederholung der Luft-Wasser- und Wasserphase (Bild 5) bestätigt dies und zeigt, dass man zu einem konstanten, tiefen Schwebestoffgehalt im Schlammwasser gekommen ist. Der dabei in die biologische Reinigungsstufe rückgeführte Wasseranteil beträgt etwa 5% der filtrierten Wassermenge.

Zweistufige Phosphor-Elimination

In Phosphoreliminationsverfahren, wo das Phosphor mit einem Metallsalz (z. B. Eisen) gefällt wird, und die so ent-

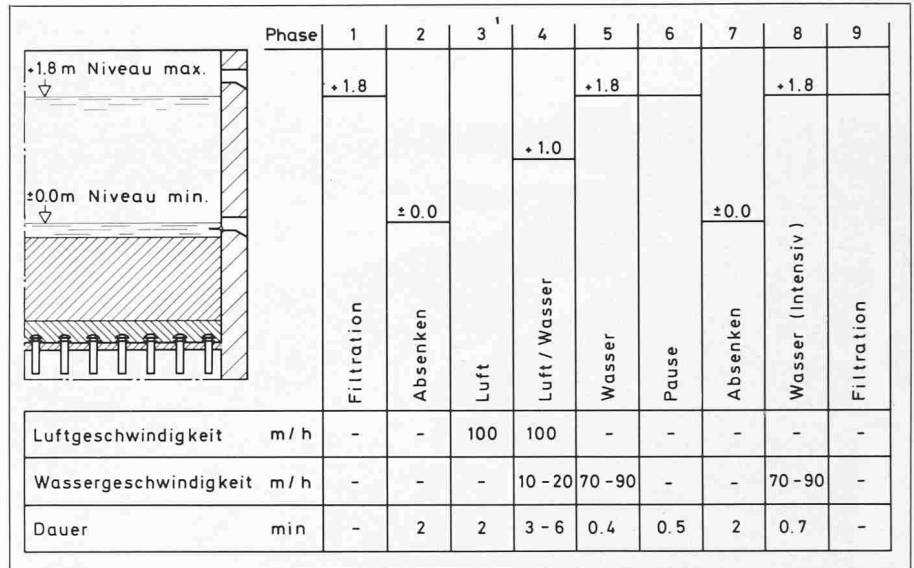


Bild 4. Schema der Aufstauspülung mit innenliegender Schlammwasserklappe und Beispiel eines Spülprogramms mit einer Luft-, Luft-Wasser- und Wasser-Phase

standenen Feststoffe abgetrennt werden, wie es z. B. in der Simultanfällung oder in der Flockungsfiltration der Fall ist, sind hohe Metall/Phosphor-Verhältnisse (in unserem Fall Fe/P) notwendig, um sehr tiefe Restphosphorkonzentrationen zu erreichen [5]. Fällungsmechanismen, aber auch Adsorptionsmechanismen an den Hydroxidflocken sind dafür verantwortlich.

Daraus folgt, dass die Erreichung von Phosphorkonzentrationen $< 1,0 \text{ g P/m}^3$ am besten durch ein 2stufiges Verfah-

ren erlangt wird: ein «günstiges» Fe/P-Verhältnis wird in der Simultanfällung zwecks Entfernung von 80% des Phosphors angewandt; mit einem höheren Fe/P und einer besseren Schwebestoffelimination werden in der darauf folgenden Flockungsfiltration die tiefen Phosphorkonzentrationen erreicht (Bild 6).

Die Kurve A in Bild 6 stellt die Gesamtphosphorkonzentration (P_{tot}) dar, die erreicht wird in Abhängigkeit der in der Simultanfällung zudosierten Eisen-

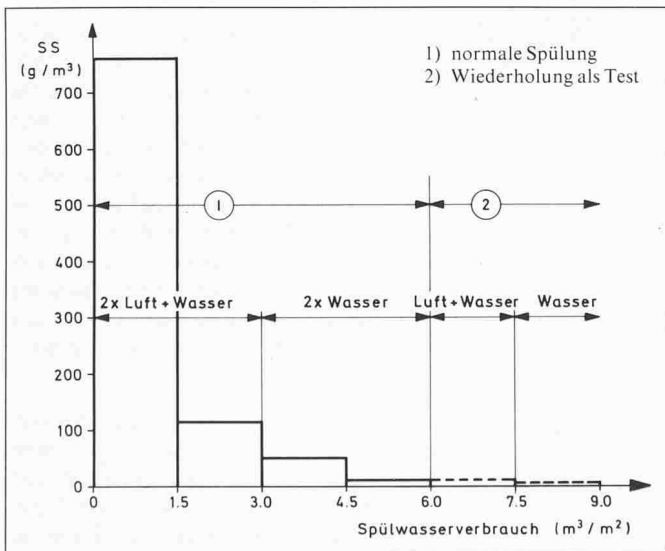


Bild 5 (oben). Typisches Beispiel der nach jeder Spülphase erhaltenen Schwebestoffkonzentration im Schlammwasser

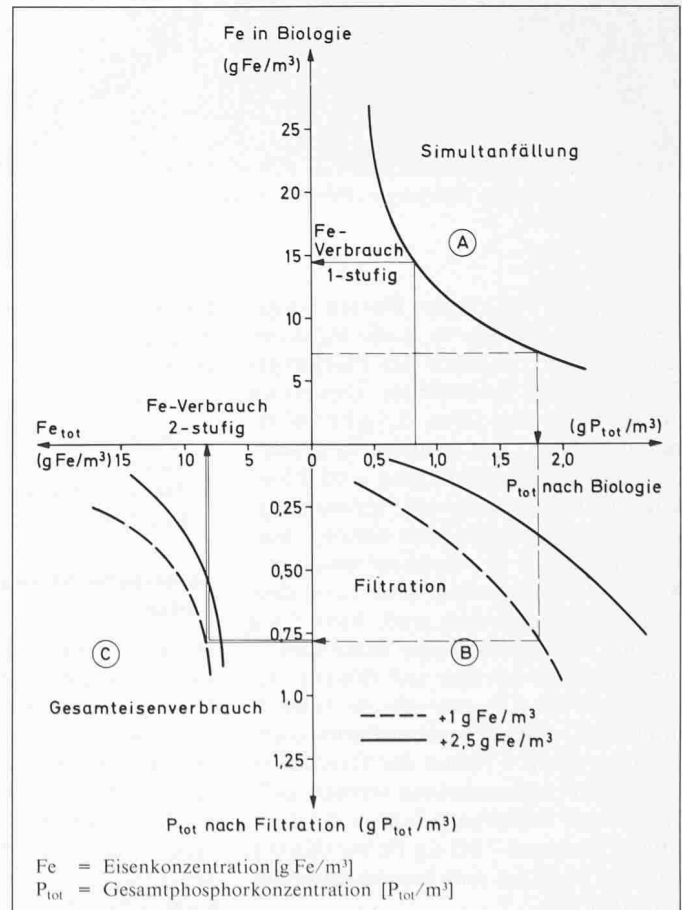


Bild 6 (rechts). Restphosphorkonzentrationen nach Simultanfällung (Kurve A) und nach Flockungsfiltration (mit 1 bzw. $2,5 \text{ g Fe/m}^3$; Kurven B) in Abhängigkeit der zudosierten Eisenmenge. Gesamtzudosierte Eisenmenge in Simultanfällung und Flockungsfiltration = Kurve C

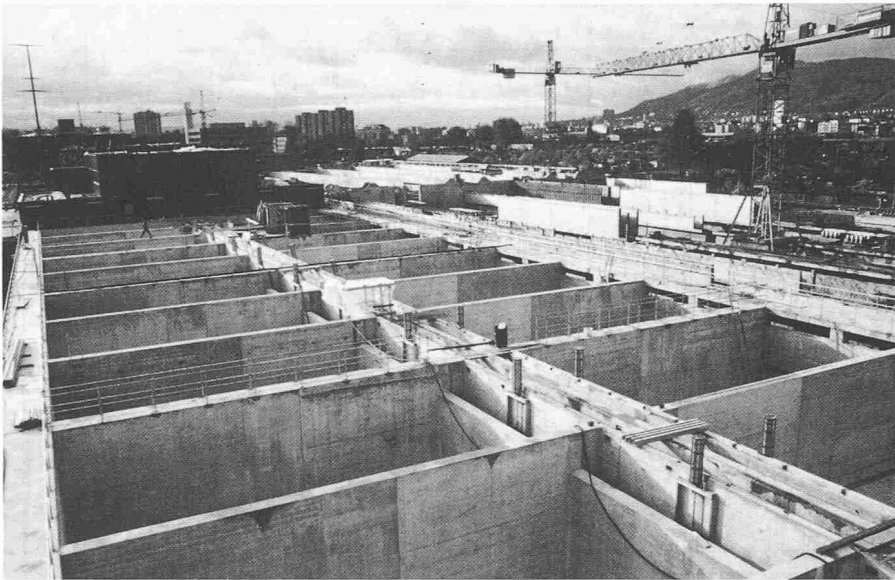


Bild 7. Filtrationsanlage im Rohbau

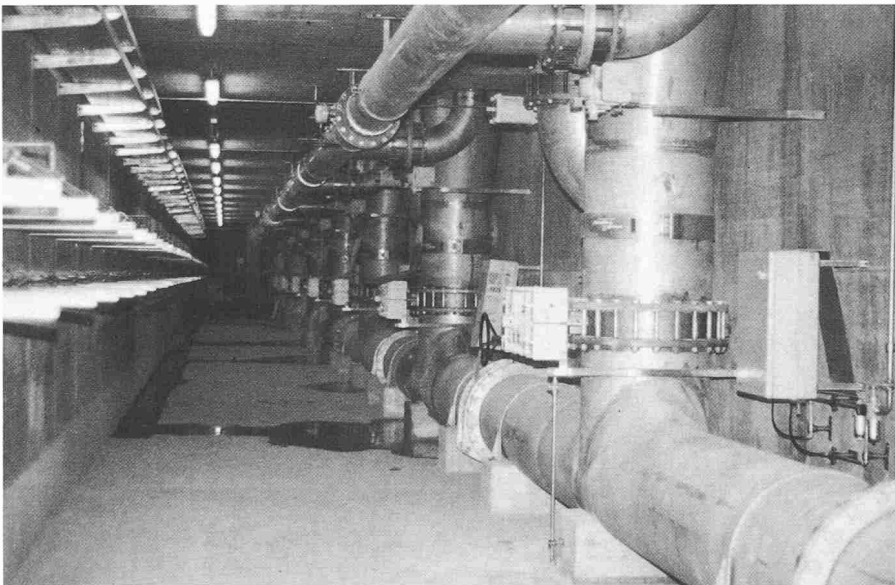


Bild 8. Rohrkeller einer Filterstrasse (Photo: A. Meier)

menge (Fe). Von diesen Werten ausgehend, zeigt die Kurve B die P_{tot} -Konzentrationen, die nach der Flockungsfiltration mit zusätzlicher Dosierung auf das Filter von 1 bzw. 2,5 g Fe/m³ erreicht wurden. Das erlaubt, die gesamte, in der Simultanfällung und Flockungsfiltration zudosierte Eisenmenge in Abhängigkeit der nach diesen 2 Stufen erreichten P_{tot} -Konzentration auf Kurven C darzustellen. Man sieht, dass 14 g Fe/m³ notwendig sind, wenn 0,8 g P_{tot} /m³ nur durch reine Simultanfällung erreicht werden soll (Kurve A). Der Wert 0,8 g P_{tot} /m³ gilt als Einstellungswert der Phosphorelimination, wenn in 4 von 5 Fällen der Grenzwert 1 g P_{tot} /m³ unterschritten werden soll. Wenn über 2 Stufen gefahren wird, so sind es nur noch 7 bis 8 g Fe/m³ (Kurve C). Dies bedeutet eine Eiseneinsparung von etwa 50%.

Die *Eiseneinsparungen* werden bei der 2stufigen Phosphorelimination noch höher,

- wenn kleinere Restphosphatkonzentrationen erreicht werden müssen.
- wenn das Filter so leistungsfähig ist, dass es die Zudosierung höherer Fe-Konzentrationen erlaubt.

Zusätzliche Wirkung der Flockungsfiltration

Ohne Flockung auf das Filter werden am Ausgang einer Kläranlage lediglich 20–40% des Phosphors zurückgehalten, mit Flockung bis über 90%. Dies ist neben den eigentlichen Fällmechanismen auf die dabei *stark erhöhte Schwebestoffelimination im Flockungsfilter* zurückzuführen. Letztere Eigenschaft ist wesentlich, um die als Eisenphosphat ausgefällten Phosphorteilchen im Filter

zurückzuhalten. Die feinen, kolloidalen Feststoffe – inklusive gewisser Phosphorverbindungen – werden nämlich während der Flockungsfiltration ausgesprochen gut an der Oberfläche der Flocken absorbiert.

Dieses Phänomen ist einer der Gründe für die besseren CSB- und BSB-Eliminationsleistungen, die in einer Flockungsfiltration als 4. Reinigungsstufe erreicht werden. Das Verhältnis

$$\frac{\Delta \text{CSB}}{\Delta \text{SS}} = \frac{\text{CSB}_{\text{Eingang}} - \text{CSB}_{\text{Ausgang Filtration}}}{\text{SS}_{\text{Eingang}} - \text{SS}_{\text{Ausgang Filtration}}}$$

CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf (g O₂/m³)

wird dabei nämlich immer ≥ 2 , was eine mittlere CSB-Elimination von über 40% bedeuten kann. Eine Filtration ohne Flockung erbringt dagegen Werte von $\Delta \text{CSB}/\Delta \text{SS} \approx 1$, mit einer mittleren CSB-Elimination von höchstens 20% und 2mal höheren Restschwebestoffkonzentrationen.

Weitere Möglichkeiten der Raumfiltration

Die Eliminationsleistungen eines Raumfilters lassen sich sogar *bei Bedarf noch steigern*. Untersuchungen haben einerseits gezeigt, dass sich nach kurzer Betriebszeit restliche Mikroorganismen auf die Körner des Raumfilters ansiedeln, die eine biologische Abbauwirkung auf die Wasserinhaltsstoffe haben. Kleine BSB₅, Ammonium- und insbesondere Nitrit-Restkonzentrationen können somit abgebaut werden. Solche Biofiltrationseigenschaften können in einem Raufilter, z. B. durch Einbringen von Reinsauerstoff und durch Anwendung von Filtermedien höherer Porosität auf Ton- und Aktivkohlebasis [4], bei Bedarf noch stark erweitert werden.

Die Raumfiltration lässt sich andererseits, dank ihrer Eigenschaft, grössere Schwebestoffmengen zurückzuhalten, auf einen Betrieb erweitern, wo *zusätzliche, ausflockende und/oder adsorbierende Zusatzstoffe* bei der Flockungsfiltration zugegeben werden. Eine solche Fahrweise, in welcher zwecks Zurückhaltung gelöster Kohlenwasserstoffe Pulveraktivkohle mit dem Fäll- und Flockungsmittel zugegeben wird, ist aus der Trinkwasseraufbereitung bekannt. Es lässt sich erwiesenermassen [4] sehr leicht in der Flockungsfiltration von geklärtem Abwasser anwenden, z. B., wenn eine spezifische Restverschmutzung oder Restfärbung gezielt eliminiert werden soll.

Anlagenbeschreibung

Die Filtrationsanlage wird wie die biologische Stufe aus betriebs- und verfahrenstechnischen Überlegungen zweistrassig gefahren.

Rohwasserhebwerk

Die durch die auf der ganzen Baustelle herrschenden Grundwasserverhältnisse bedingte *Hochlage der Filter* erforderte den Bau eines Rohwasserhebwerkes, ermöglicht aber andererseits den freien Auslauf des filtrierten Abwassers zur Limmat. Zur Förderung der gesamten Abwassermenge von 9,6 m³/h dienen 6 gleich grosse Schneckenpumpen. Jede Schneckenpumpe hat eine Förderleistung von 1600 l/s und eine Förderhöhe von 3,3 m. Die Schneckenpumpen werden je nach anfallender Abwassermenge zu- oder abgeschaltet.

Filteranlage

Die Filteranlage ist in zwei unabhängige Strassen aufgeteilt (Bild 2). Jede Strasse besteht aus 11 offenen Zweischicht-Raumfiltern von 12,2 × 7 m mit je 85,4 m² Fläche. Die Filtrationsgeschwindigkeiten (Beschickungen) schwanken zwischen 2,5 m/h bei minimalem und 17,25 m/h bei maximalem Wasseranfall. Bei maximaler Belastung der Anlage und gleichzeitiger Rückspülung beträgt die Filtrationsgeschwindigkeit 20 m/h.

Vom Hebewerk gelangt das Rohwasser durch zwei Verteilkanäle in die Filtervorkammern (Bild 1). Der *Zulauf* in diese Vorkammern kann durch ferngesteuerte Schütze abgesperrt werden. Dadurch ist es möglich, jeden Filter für die Rückspülung oder für Revisionen ausser Betrieb zu setzen. Zur Revision der automatischen Schütze sind Damiplatten vorgesehen.

Aus den Filtervorkammern gelangt das Rohwasser über *verstellbare Überfallkanten*, die auch bei geringen Mengen eine Gleichverteilung erlauben, auf die einzelnen Filter. Durch gesteuerte Klappen in den Filtratableitungen wird der Wasserspiegel in jedem Filter auf einem konstanten Niveau gehalten.

In den Filtern durchfließt das Wasser zwei Schichten von verschiedenen, genau aufeinander abgestimmten *Filtermedien*, in denen die noch enthaltenen Feststoffe mehrheitlich zurückgehalten werden.

Die *Düsenböden* wurden mit den vom Filterlieferanten zur Verfügung gestellten Stahl-Gleitschalungen in Ortsbeton hergestellt. Dieselben Stahlschalungen ermöglichten auch den einwandfreien

Einbau der über 120 000 Filterdüsen. Durch diese grosse Anzahl Düsen wird sowohl bei der Filtration wie auch bei der Rückspülung eine gleichmässige Beaufschlagung der gesamten Filterfläche gewährleistet.

Unterhalb der Düsenböden, im sogenannten *Polsterraum* eines jeden Filters befinden sich die Verteilsysteme für *Spülluft* und *Spülwasser*. Diese Kanalsysteme wurden zum Teil in Ortsbeton und zum Teil aus vorfabrizierten Beton-elementen hergestellt.

Rückspülung der Filter

Zur Rückspülung der Filter stehen 6 *Spülwasserpumpen* mit einer Leistung von je 950 l/s zur Verfügung. Für jede Filterstrasse werden zwei Pumpen zur Rückspülung benötigt, während die dritte Pumpe als Reserve dient.

Das *Spülwasser* wird den Filtrat-Auslaufkanälen entnommen. Die Konstruktion dieser Kanäle gewährleistet, dass während des Betriebes der Anlage immer genügend Spülwasser zur Verfügung steht. Der maximale momentane Spülwasserbedarf beträgt 6840 m³/h.

Die zur Rückspülung benötigte *Spülluft* wird dem Kollektorsystem der Biologie-Belüftungsanlage entnommen. Die maximal benötigte momentane Spülluftmenge beträgt 8540 Nm³/h.

Die Rückspülung der Filter wird im Normalfall durch die *Programmsteuerung* zeitabhängig ausgelöst. Die Spülintervalle betragen je nach Belastung der Anlage 24, 12 oder 6 Stunden. Bei abnormalen Betriebszuständen kann die Rückspülung aber auch durch die Steuerung der Filtrat-Regulierklappen, durch eine in jedem Filter vorhandene Niveausonde oder durch manuellen Eingriff in das Steuersystem eingeleitet werden.

Schlammwasserrückführung

Das bei der Rückspülung anfallende Schlammwasser wird in *zwei Rückhaltebecken* gestapelt und von dort über je einen *Rundsandfang* in die neuen Belüftungsbecken zurückgepumpt. Dazu sind insgesamt 8 Schlammwasserpumpen installiert, 4 davon mit einer Leistung von je 83 l/s und 4 mit einer Leistung von je 333 l/s. Für jede Filterstrasse sind je nach Schlammwasseranfall eine oder zwei kleine Pumpen oder eine grosse Pumpe in Betrieb. In jeder Strasse dient eine grosse Pumpe als Reserve.

Die *Steuerung* der Schlammwasserpumpen erfolgt einerseits in Abhängigkeit des Wasserstandes in den Rückhaltebecken und andererseits nach den vorgegebenen Spülintervallen. Damit

wird erreicht, dass das Schlammwasser kontinuierlich in die Belüftungsbecken gefördert wird und störende hydraulische Stösse vermieden werden.

Schlussbemerkungen

Die Kosten der Flockungsfiltration auf der Kläranlage Werdhölzli betragen:

Kapitalkosten: etwa 0.03 Fr./m³
Betriebskosten: 0.015 Fr./m³

Dies ist nur ein Bruchteil der gesamten, auf die ganze Anlage anfallenden Kosten. Das Kosten/Nutzen-Verhältnis der Flockungsfiltration ist dabei voll gewährleistet, insbesondere wenn man bedenkt, dass die *tieferen Restkonzentrationen* diejenigen sind, die am schwersten zu erreichen sind.

Man sieht zudem, dass das System *Flockungsfiltration im Raumfilter* dank seiner Technologie – insbesondere die Spültechnologie – die gewünschte Flexibilität hat, um gewisse Änderungen der Betriebsparameter, z. B. Medienwahl, Natur der zugegebenen Hilfstoffe oder Spülung, zu ermöglichen. Die Flockungsfiltrationsanlage ist somit eine Verfahrensstufe, die für den Fall noch verschärfter Ablaufforderungen in Zukunft leicht umgerüstet werden kann.

Literatur

- [1] Heierli, R.: «Ausbau der Kläranlage Werdhölzli; Veranlassung und Zielsetzung». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 13 (1982)
- [2] Wiesmann, J.; Kiefer, H.-J.: «Ausbau der Kläranlage Werdhölzli; das Projekt». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 13 (1982)
- [3] Gujer, W.; Boller, M.: «Ausbau der Kläranlage Werdhölzli; Abwasserreinigungsversuche der EAWAG». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 13 (1982)
- [4] Gros, H.: «Spezielle Aspekte der Filtrationstechnik: Spülung, Erweiterung der Aufgabenstellung». Vortrag gehalten an der VSA-Fachtagung «Abwasserfiltration». Zürich, Nov. 1982.
- [5] Gros, H.: «Optimierung der Flockungsfiltration zur weitgehenden Abwasserreinigung» – «Optimisation de la floculation-filtration pour le polissage des eaux usées». Vortrag am ESA-Symposium München IFAT (1981), Gas-Wasser-Abwasser (CH), 62, Nr. 7, 289 (1982)

Adresse der Verfasser: Dr. H. Gros, dipl. Chem.-Ing. ETH und J. Moser, Masch.-Ing. HTL, c/o Gebr. Sulzer AG, Schützenstr. 32, 8401 Winterthur.