

ENTWICKLUNG DER WASSERAUFBEREITUNGSTECHNOLOGIE

Von

G. ÖLLÖS

Lehrstuhl für Wasserwirtschaft, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 22. Dezember 1969)

Vorgelegt von Prof. Dr. I. V. NAGY

I. Einleitung

Die Wasseraufbereitungstechnologie hat einen Entwicklungsstand von großem Interesse erreicht. Bei der bisherigen Befriedigung der quantitativen und qualitativen Ansprüche haben sich zur Lösung praktisch sämtlicher Aufgaben der Wasseraufbereitungstechnologie konkrete Richtungen ausgebildet. Es stehen nunmehr Kenntnisse zur Verfügung, auf deren Grundlage es lohnend und auch erforderlich ist, diese Kenntnisse zu überprüfen und gleichzeitig weiterzuentwickeln. *Die Anschauungen sind nachdrücklicher miteinander abzustimmen.* Gleichzeitig mit der Qualitätsverschlechterung der Rohwässer müssen die gesundheitlichen Kenntnisse in erhöhtem Maß herangezogen werden. Damit kann es sich herausstellen, daß die vorhandenen Reinigungstechnologien in vielen Fällen zu verschärfen sind.

Von diesem Gedankengange ausgehend setzte sich Verfasser das Ziel, anhand der anlässlich einer UNO- (WHO)-Studienreise in Westeuropa gemachten Erfahrungen seine Ansicht über eine Reihe von aktuellen Problemen der Wasseraufbereitungstechnologie zu äußern.

2. Schnellfiltration

Im Wasseraufbereitungsvorgang ist die *Filtration* von größter Wichtigkeit. In den meisten Fällen ist die *Schnellfiltration* anzuwenden. Nach den Erfahrungen des letzten Jahrzehntes sind jedoch in Fällen, wo in das Rohwasser immer größere Mengen von Mikroverunreinigungen gelangen, die Schnellfilter bereits weniger imstande, ihre bisherige Aufgabe zu erfüllen. Der mit Schnellfiltern erreichbare Filterwirkungsgrad verschlechtert sich, am bereits gereinigten Wasser, das in das Netz gelangt, ist hinsichtlich der Qualität manches auszusetzen.

Soll der Schnellfiltrationsvorgang untersucht werden, so dienen zweckmäßigerweise vor allem die theoretischen und experimentellen Forschungen von z. B. IVES, MINTZ, IWASAKI, SHOLJI, STEIN als Grundlage.

In Abb. 1 ist *die Größenordnung im Verhältnis zueinander* der Körner einer Filterschicht, einer ihrer Poren und der sich mit dem Filterwasser in

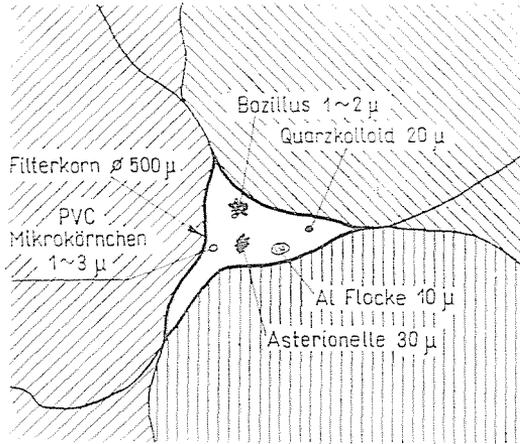


Abb. 1. Vergleich zwischen der Korngröße der Filterschicht, der Größe der Poren und der Wasserinhaltsstoffe (nach Ives)

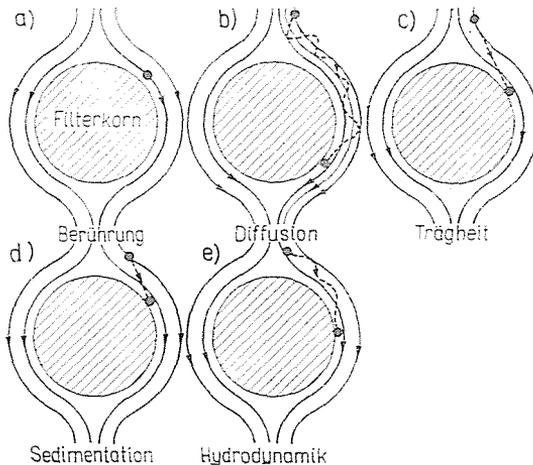


Abb. 2. Mechanismus des Inhaltsstofftransports bei laminarer Filtration (nach Ives)

der Probe bewegenden verschiedenen Wasserinhaltsstoffe veranschaulicht. Es stellt sich heraus, daß die Größe eines Bazillus oder eines Kolloidteilchens im Vergleich zu jener der Pore verschwindend gering ist. Beim Ausbleiben der Flockulation der Wasserinhaltsstoffe oder einer Adsorptionswirkung zwischen den Körnern und den Stoffteilchen nimmt der Filterwirkungsgrad offenbar ab. *Deshalb ist das Rohwasser zur Filtration entsprechend zu reinigen bzw. aufzubereiten, u. zw. vor allem durch Klärung.*

Die Annäherung der Filterkornoberfläche durch die Wasserinhaltsstoffe, ihr Haften an der Oberfläche werden durch die in Abb. 2 angedeuteten Vorgänge begünstigt [5, 6, 7, 10]:

— Die Teilchen, die sich entlang der innersten Stromlinie neben der Kornoberfläche bewegen, *berühren sich* mit derselben (a).

— Beim Kreuzen der Stromlinien können die Teilchen durch *Diffusionswirkung* an die Oberfläche der Filterkörner gelangen (b).

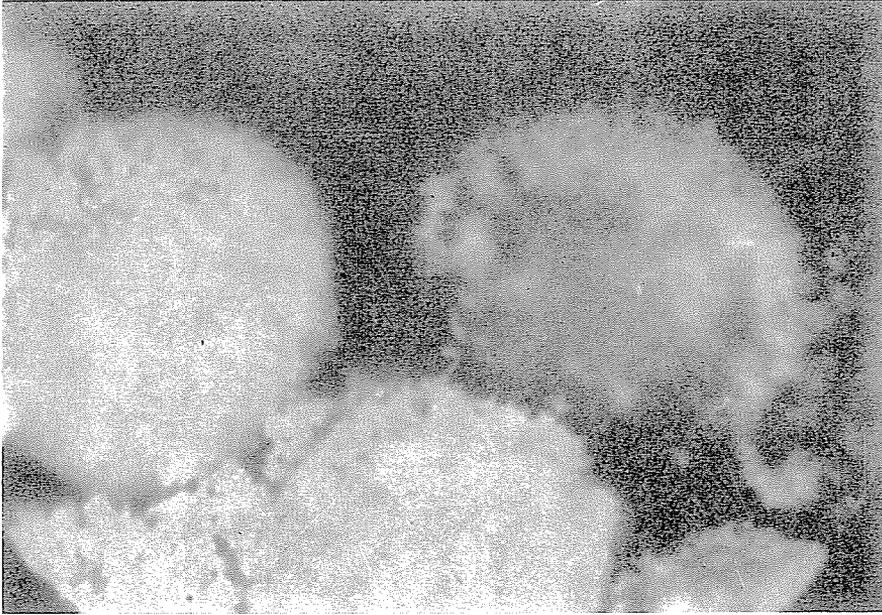


Abb. 3. Haften der weggefilterten Stoffe auf der Filterkornoberfläche (mikroskopische Untersuchung nach Ives)

— Größere Teilchen können unter der *Trägheitswirkung* die Stromlinien kreuzen, und gelangen auf diese Weise an die Oberfläche der Filterkörner (c).

— Im Fachschrifttum wird oft die Absetzwirkung (d) der Filterschicht erwähnt; schließlich ist noch

— die *hydrodynamische* Wirkung (e) zu nennen.

Das Studium der *Mikroerscheinungen* im Schnellfilter, eine eingehende Analyse der Adsorptionserscheinungen sind von entscheidender Wichtigkeit. Sie gestatten, *zwischen Klärung und Schnellfiltration eine rationelle Verbindung zu schaffen*. Dazu liefert Abb. 3 ein Beispiel, die das Haften von gewissen Wasserinhaltsstoffen auf der Filterkornoberfläche, die entstandenen Mikroreliefverhältnisse darstellt.

Aus den Abb. 2 und 3 läßt sich also feststellen, daß neben der Beschreibung des Vorgangs in seiner Gesamtheit, die Untersuchung der Einzelheiten mit zeitgemäßen Mitteln und in einer zeitgemäßen Anschauungsweise eine wichtige Aufgabe der Zukunft darstellt.

Die theoretische Kennzeichnung der Schnellfiltration erfolgte bis jetzt in zwei Hauptrichtungen.

IVES baute seine Filtertheorie vor allem auf die geometrische Betrachtungsweise auf.

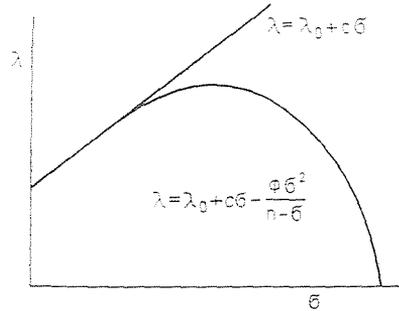


Abb. 4. Graphische Darstellung der Gleichung (3)

Die Änderung der bereits weggefilterten Schwebestoffkonzentration je Einheitstiefe des Filters ist der augenblicklichen Konzentration (C) proportional:

$$\frac{\partial C}{\partial L} = \lambda C. \quad (1)$$

wo λ ein Faktor zum Ausdruck der Filterwirksamkeit ist, der von der Filterkorngröße, der Filtrationsgeschwindigkeit, von der Art der wegzufilternden Substanzen und deren geometrischen Abmessungen, vom Porenvolumen der Schicht, von der Wassertemperatur usw. abhängig ist.

Für λ läßt sich anschreiben:

$$\lambda = \lambda_0 + c\sigma, \quad (2)$$

wo λ_0 den Filterfaktor, bezogen auf den reinen Filter, c die Filterkonstante, σ das Volumen der weggefilterten Schmutzstoffe je Einheitsfiltervolumen bedeuten (σ ist also ein dimensionsloser Parameter).

Unter Berücksichtigung der dynamischen Verhältnisse in der Filterschicht (was von großer Wichtigkeit ist!), läßt sich für λ folgende, gegenüber Gl. (2) modifizierte Gleichung aufschreiben:

$$\lambda = \lambda_0 + c\sigma - \frac{\varphi\sigma^2}{n - \sigma}, \quad (3)$$

wo φ einen weiteren Filterfaktor, n das Porenvolumen bedeuten. Auf der rechten Seite der Gleichung beziehen sich λ_0 auf den *reinen Filter*, $c\sigma$ auf den *Anfangsabschnitt* der Filtrationszeit, $\frac{\varphi\sigma^2}{n - \sigma}$ auf die *dynamischen Verhältnisse während der Verstopfung*.

Die Gleichungen (2) und (3) sind graphisch in Abb. 4 dargestellt.

Aus Gleichung (3) geht hervor, daß die *Filtrationsperiode bzw. der Zeitpunkt für die Filterspülung unter Berücksichtigung des dynamischen Vorgangs beim Durchbruch des Filters zu wählen ist*.

Bei der Weiterentwicklung der Filtertheorie ist das Hauptgewicht auf die Bestimmung der *Filterparameter einer durch weggefilterte Substanzen* (bis zu einem angegebenen Grade) *verstopften* Schicht zu legen. Diese Parameter sind nach MINTZ:

— $q^* = q^*(x, t)$, die weggefilterte Substanz je Einheitsfiltervolumen (wo x die Tiefe unter der Filteroberfläche, t die Filtrationszeitdauer bedeuten);

— $\sigma = \sigma(x, t)$, die weggefilterte Substanz je Einheitsporenvolumen;

— $v_{sz} = \frac{v}{n}$ die tatsächliche Filtrationsgeschwindigkeit (wo v die mittlere Filtrationsgeschwindigkeit und n das Porenvolumen bedeuten);

— $\omega = \omega(x, t)$, die spezifische Oberfläche.

Für die Zusammenhänge zwischen den Parametern gelten folgende Beziehungen:

$$v_{sz} = \frac{v}{n}; n = n_0 - q^*; q^* = \frac{q}{\gamma}; \sigma = \frac{q}{\gamma n_0},$$

wo n das Porenvolumen des reinen Filters, $q = q(x, t)$ das Gewicht in [mg/l] der weggefilterten Substanz je Einheitsfiltervolumen, γ ihr spezifisches Gewicht bedeuten.

Die auf die vorstehenden Parameter aufgebaute Gleichung des laminaren Filtrationsvorgangs wird von MINTZ in folgender Form angegeben:

$$\frac{i}{i_0} = \left(\frac{n_0}{n}\right)^3 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2, \quad (4)$$

wo i_0 der hydraulische Gradient für das reine Filter, $i = i(x, t)$ jener für eine bereits weggefilterte Substanzen enthaltende Filterschicht ist.

Aus dem Gedankengang zu den Gleichungen (1) bis (4) geht hervor, daß a) die *Bestimmung des dynamischen Verhaltens der weggefilterten, kolloiden, flockigen Stoffe in den Poren des Filters für die Filtertheorie entscheidend ist*. (Das ist leicht verständlich, da doch z. B. die Festigkeitsverhältnisse der Flocken von denen der Filterschicht unterschiedlich sind.)

b) zur *Bestimmung der Filterparameter die Meßtechnik weiterzuentwickeln ist*.

Für den Betrieb von Schnellfiltern stellt eine günstigere Beeinflussung des *Druckverlustes* bzw. der Filtrationsperiode als bisher eine vorrangige Aufgabe dar.

Durch einen übermäßigen *Druckverlust*, ja durch das Auftreten eines Vakuums in der Filterschicht können zahlreiche ungünstige Umstände verursacht werden: aus der Lösung werden Gase ausgeschieden und führen zur Blasenbildung in den Poren, die ein Hindernis im Wege des Filterwassers darstellen, durch das das Wasser den Nachbarporen zu abgelenkt wird, wo dann die Filtrationsgeschwindigkeit zunimmt, ein Umstand, der die *Erosion* der weggefilterten Stoffe und damit eine *weniger gute Qualität des Filtrats* herbeiführen kann.

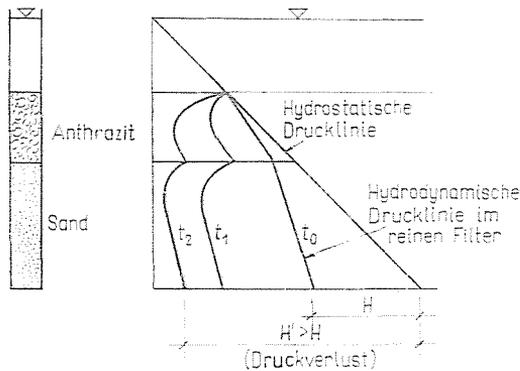


Abb. 5. Druckverteilung in einem Mehrschicht-Schnellfilter (nach Ives)

Aus der Sicht der *Filtrationsperiode* (und des Druckverlustes) stellt ein homogenes Einschicht-Filtermedium keine optimale Lösung dar. Der obere Teil der Filterschicht ist stark beansprucht, während sich ihr unterer Teil für die wegzufilternden Substanzen weniger verwenden läßt.

Die Forschungen sind daher auf die Anwendbarkeit von *Mehrschichtfiltern* abgerichtet (z. B. Ives). Diese haben den Einschichtfiltern gegenüber den Vorteil, daß die gröbere Oberschicht bedeutend mehr Wasserinhaltsstoffe aufnehmen (speichern) kann; dadurch wird die feinkörnigere, untere, eigentliche Filterschicht hydraulisch gewissermaßen entlastet, und damit *verlängert sich die Filtrationsperiode*. Durch die Oberschicht wird auch sicherlich die Flockenbildung (deren Beendigung) gefördert.

Damit sich beim Spülen die Stoffe der beiden Schichten nicht vermengen, muß die gröbere Oberschicht aus einem Stoff mit *bedeutend geringerem spezifischem Gewicht* als die untere bestehen. Es empfiehlt sich, für die obere Schicht z.B. Anthrazit zu wählen.

Die Druckverteilung in einem Zwei- (oder Mehr-) -schichtfilter ist in Abb. 5 dargestellt. Für den Filtrationsvorgang in einem Mehrschichtfilter ist es kennzeichnend, daß sich die wegzufilternden Substanzen in gewissem Maße

nach Korngrößen verteilen, und sich die einzelnen Korngruppen in den oberen Teilen der einzelnen Schichten ablagern. Dieser Vorgang läßt sich im Prinzip auch bei den Untersuchungen gut verfolgen, bei denen Kohlenstaub in einem Mehrschichtfilter ausgeschieden wurde. (Die Untersuchungen wurden von uns am Lehrstuhl für Wasserwirtschaft der Technischen Universität Budapest durchgeführt.)

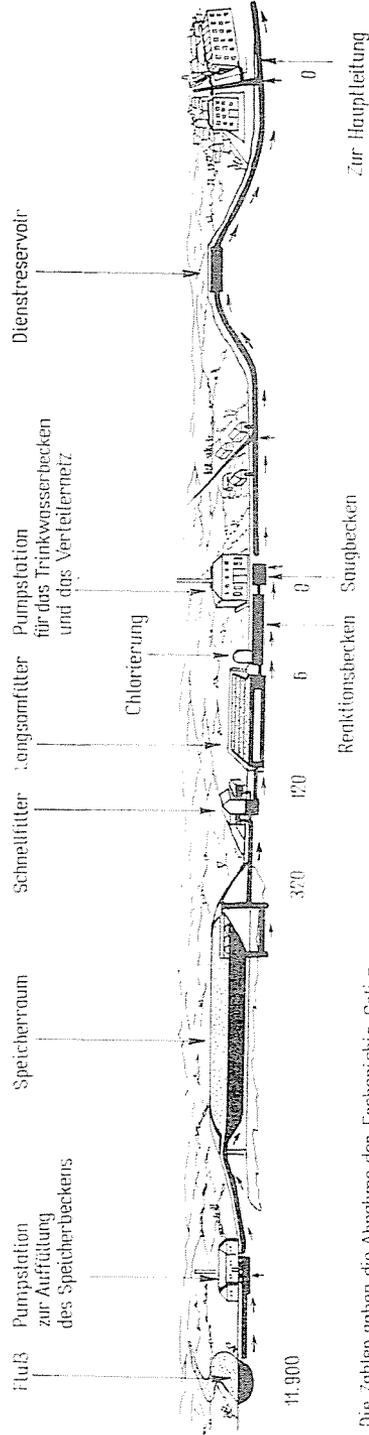
Zusammenfassend läßt sich über den Einsatz von Schnellfiltern aussagen, daß ihre Rolle in der Wasseraufbereitungstechnologie in Abhängigkeit von den Verunreinigungsverhältnissen des Rohwassers zu beurteilen ist. Die mechanische Reinigung im Filter ist bei einer Verschlechterung der Rohwasserqualität (bei einer Zunahme der Arten sowie der Menge der Mikroverunreinigungen) durch weitere Reinigungsvorgänge zu ergänzen.

3. Langsamfilter

Zur Veranschaulichung dient in Abb. 6 die typische Reinigungstechnologie der Wasserwerke von London. Durch die Wiederverwendung des rohen Themse-Wassers (dem beträchtliche Mengen biologisch gereinigten Abwassers zugeführt werden) sind die Fachleute zur Vorsicht gezwungen. In einem derartigen Rohwasser besteht ja die größte Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen z. B. von Viren. Daher wird das Themse-Wasser in mit Ringdämmen umgebene mächtige Speicherbecken gepumpt. In der Wasserreinigung sind die Speicher dazu bestimmt, daß sich hier während eines längeren Aufenthalts des Wassers unter natürlichen Umständen eine Selbstreinigung vollzieht. Das ist also eine Vorreinigung, nach der das Wasser auf die Schnellfilter geleitet wird. Um eine weitere (notwendige) Verbesserung der Wasserqualität zu erzielen, kommt dann das Wasser auf Langsamfilter, wodurch also auch die günstigen Möglichkeiten zur biologischen Filtration ausgenutzt werden. Wie es die Zahlen unter der Abbildung zeigen, hat hinter dem Langsamfilter die Menge der *Escherichia coli* tatsächlich abgenommen.

Bei dieser Reinigungstechnologie wird das Hauptgewicht auf die eine wirksame Vorreinigung gewährleistenden (und zugleich Wasser speichernden) Speicherbecken und auf die für die Qualität des gereinigten Wassers maßgebenden Langsamfilter gelegt.

Auf das Wesen des durch die Langsamfilter (und im allgemeinen durch die Langsamfiltration) gesicherten, günstigen Reinigungsvorgangs wird in Abb. 7 [2] hingewiesen. Auf die Oberfläche des Filters können mit dem Wasser verschiedene — organische und anorganische — Wasserinhaltsstoffe gelangen. Bei Vorhandensein einer hinreichenden Menge von Sauerstoff geht in der auf den Grund abgelagerten Detritus-Schicht sowie im Filter ein aerober Abbauvorgang vor sich. In einem solchen Falle ohne Vorreinigung kann sich die



Die Zahlen geben die Abnahme der Escherichia Coli an.

Abb. 6. Schematische Darstellung des typischen Wasseraufbereitungsvorgangs der Wasserwerke London

Rolle der Filterschicht ungünstig gestalten: CO_2 kann angereichert werden, hingegen O_2 stark abnehmen, u. U. kann ein anaerober Abbau vorkommen. Deshalb ist das dem Langsamfilter zugeleitete Wasser sorgfältig vorzureinigen. Beim Entwurf ist die biologische Belastbarkeit der Filterschicht als Ausgangsbasis zu betrachten.

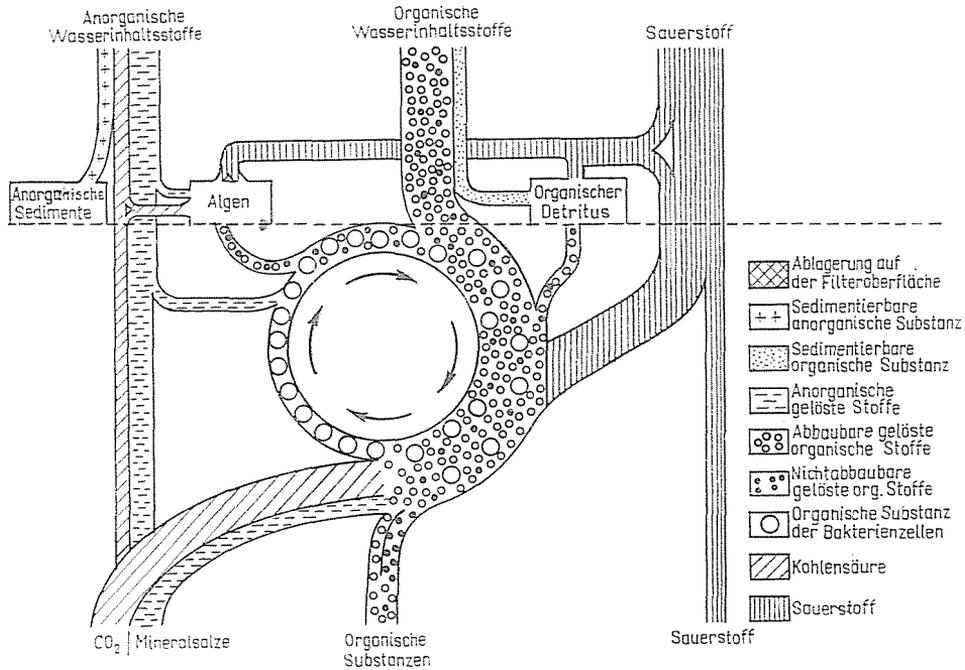


Abb. 7. Arbeitsprinzip des biologischen Langsamfilters (nach Schmidt)

Beim Entwurf eines Langsamfilters stellt die geeignete Wahl des Dränsystems im Filterboden eine zweite wichtige Aufgabe dar. Hierbei ist zweckmäßigerweise die Herbeiführung eines eindimensionalen Filtrationsvorgangs anzustreben. Dadurch ist der Horizontalquerschnitt der Filterschicht für physikalische, chemische und biochemische Vorgänge in gleichem Maße beansprucht. Das Dränsystem kann aus perforierten Rohren bestehen, doch weist der in Abb. 8 gezeigte, zeitgemäße, geschlossene Langsamfilter im Bau der Wasserwerke Zürich eine günstigere Wirkung auf. Hier wurde ein Dränboden aus Ziegeln gebaut. Auf diesem ist ein Mehrschicht-Kiesfilter angeordnet, auf den die eigentliche Filterschicht kommt.

Aus betriebsmäßigen Rücksichten ist ein gedeckter Langsamfilter günstiger, weil in diesem Falle die Verstopfung durch Algen unterbleibt und sich daher die Filtrationsperiode verlängern läßt.

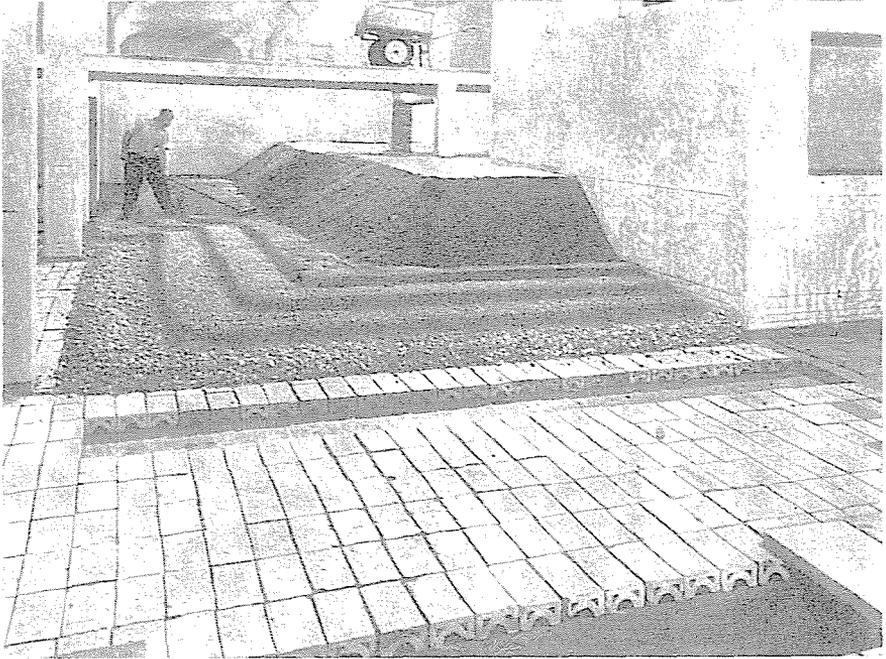


Abb. 8. Das geschlossene Langsamfilter im Bau der Zürcher Wasserwerke

Die Frage, ob ein offener oder ein geschlossener Langsamfilter einzusetzen ist, soll zweckmäßig aufgrund der Qualität des zu filternden Wassers entschieden werden. Enthält das Wasser in beträchtlicher Menge Nährstoffe für pflanzliche Mikroorganismen, so ist der Filterbetrieb in den lichtreichen Perioden kostspieliger. Die Qualität des Filtrats ist von der offenen oder gedeckten Ausführung des Filters weitgehend unabhängig.

Wegen des günstigen Reinigungsvorgangs wird in der Zukunft den Langsamfiltern eine größere Rolle als bisher zukommen.

4. Grundwasseranreicherung

Die Langsamfiltration läßt sich einerseits in Form des künstlichen Langsamfilters, andererseits in Form der den natürlichen Verhältnissen bereits näher kommenden Grundwasseranreicherung und der Wasserentnahme über Uferfilteranlagen in den Dienst der Wasserreinigung stellen. Die Grundwasseranreicherung wird heute immer mehr zu einer der Stufen der Wasserreinigungstechnologie. (Dabei ergibt sie selbstverständlich auch eine Zunahme der Wasservorräte.) Im Laufe der Grundwasseranreicherung hält sich das Wasser viel längere Zeit im körnigen Medium auf, als im Falle der Langsamfiltration. Die Grundwasseranreicherung ist also bestimmt, die Beschaffung von

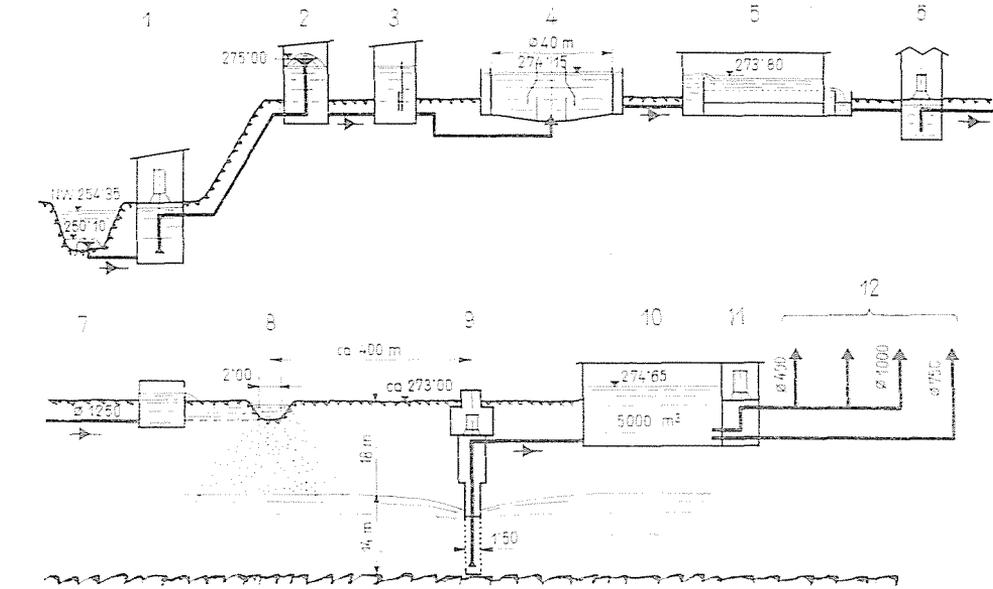


Abb. 9. Wasseraufbereitungsvorgang bei den Wasserwerken Basel (Hardwasser AG)

1. Rohwasserpumpstation; 2. Belüftung; 3. Verteilbauwerk; 4. Klärbecken; 5. Schnellfilter; 6. Filter-Pumpstation. 7. Filtratdruckleitung; 8. Sickeranlagen; 9. Grundwasserfassungen; 10. Trinkwasserreservoir; 11. Pumpwerk; 12. zu den Verbrauchsstellen.

»grundwasserartigem« Wasser zu ermöglichen, sie stellt also eine Wasseraufbereitungstechnologie dar. Gütemäßig steht das erhaltene Wasser zwischen dem durch Langsamfiltration gereinigten Wasser und dem natürlichen Grundwasser.

Ein typischer Fall der Anwendung der Grundwasseranreicherung ist in Abb. 9 dargestellt. Das ziemlich stark verunreinigte Rohwasser wird für die Wasserwerke Basel dem Rhein entnommen. Nach der üblichen Klärung und Schnellfiltration verbleiben im Wasser noch viele Geschmacks- und Geruchsstoffe (im allgemeinen Mikroverunreinigungen). Deshalb kann das Wasser unmittelbar nach der Schnellfiltration nicht entkeimt werden, sondern es wird auf ein waldiges Gelände in einer Entfernung von mehreren Kilometern von der Wasserreinigungsanlage geleitet und in Gräben und Teichen versickern lassen. Das angereicherte Wasser wird dann aus Brunnen gepumpt. Eine befriedigende Qualität des Wassers ist von dieser Reinigungsstufe — der Anreicherung — zu erwarten.

5. Vergleich der Rollen von Langsamfilter, Chlorierung und Ozonisierung

Im Vorstehenden wurde die positive Rolle der Langsamfiltration (und in deren Rahmen der Langsamfilter und der Grundwasseranreicherung) für die Zukunft herausgestellt. Im weiteren sollen anhand des Beispiels der

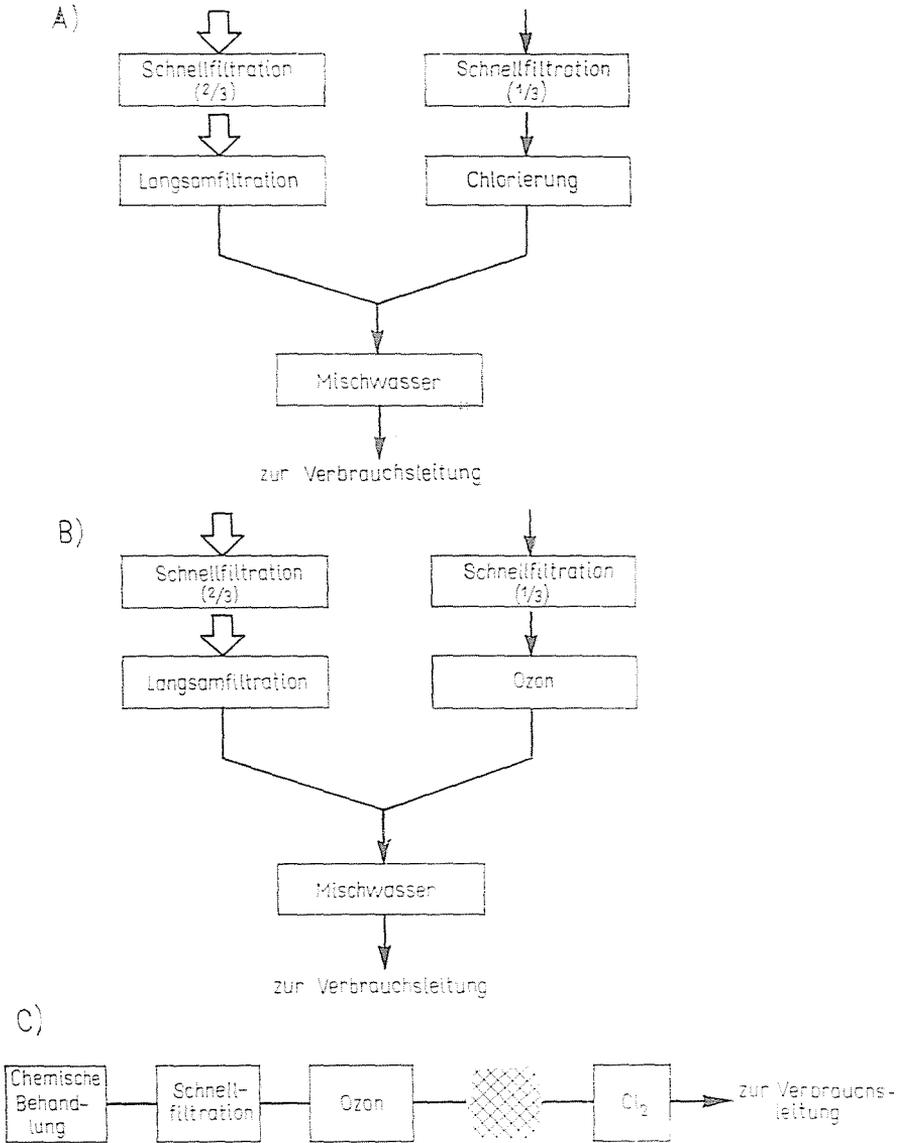


Abb. 10.A–C. Entwicklung der Wasserreinigungstechnologie der Zürcher Wasserwerke (K. Dietlicher)

Wasserwerke Zürich die Rolle des Langsamfilters, der Chlorierung und der Ozonisierung in einem Wasserreinigungssystem verglichen werden.

Die Wasserwerke von Zürich erhalten das Rohwasser aus dem Zürich-See. Um das Jahr 1870 war das Wasser des Sees noch so rein, daß es nach einem Langsamfilter ohne Entkeimung in das Wasserversorgungsnetz geleitet werden konnte.

Mit der fortschreitenden Eutrophisierung im See stellten sich auf dem Gebiet der Wasseraufbereitung Probleme. Daher wurden unter Berücksichtigung der Gegebenheiten der Wasserwerkerweiterung zwei Drittel des Wassers durch einen *Schnellfilter*, sodann durch einen Langsamfilter geleitet (Abb. 10A). Ein Drittel der Wassermenge wurde durch einen *Schnellfilter* geleitet, sodann chloriert. In diesem Falle spielten also der Langsamfilter und das Chlorieren dieselbe Rolle.

Inzwischen erschien im Zürich-See auch das *Phenol*, das eine weitere Änderung der Wasseraufbereitung erforderte. Nach Abb. 10B wurde für ein Drittel der Wassermenge die Chlorierung durch *Ozonbehandlung* ersetzt, um die Bildung von Chlorphenol zu vermeiden. In diesem Falle spielen also der Langsamfilter und die Ozonbehandlung dieselbe Rolle.

In letzterem Falle werden jedoch nach Abb. 10C dadurch Schwierigkeiten bereitet, daß es nicht entschieden ist, was mit dem bei der Ozonisierung entstehenden Präzipitat geschehen soll (da doch bei der Wasserreinigung keine weitere Filtration vorgesehen ist). Die Behandlung des Wassers mit Cl_2 ist für das Rohrnetz erwünscht.

6. Aktivkohle

Bei der Wasseraufbereitung bedient man sich oft auch der Aktivkohle (z.B. nach der Langsamfiltration oder der Ozonbehandlung), wenn Geschmacks- und Geruchsstoffen zu entfernen sind. Die mit Aktivkohle gemachten Erfahrungen sind verschieden. In einzelnen Fällen spielt sie eine positive Rolle, in anderen Fällen ist die Wirkung weniger günstig, was man durch die übermäßige Vermehrung der Mikroorganismen zu erklären versucht. Mehrfach wird auch dann Aktivkohle vorgesehen, wenn aus irgendeinem Grunde mit einem Phenolunfall zu rechnen ist. (Für die Anwendungsmöglichkeit von Aktivkohle gibt Abb. 11 ein gutes Beispiel.)

7. Aufbereitung des Donau-Wassers bei Ulm

Eine anspruchsvollere Reinigungstechnologie ist in Abb. 11 dargestellt. Im Forschungsinstitut Leipheim wurde die Reinigung des Wassers aus dem Donau-Abschnitt bei Ulm unter Laborverhältnissen durchgeführt (G. WERNER).

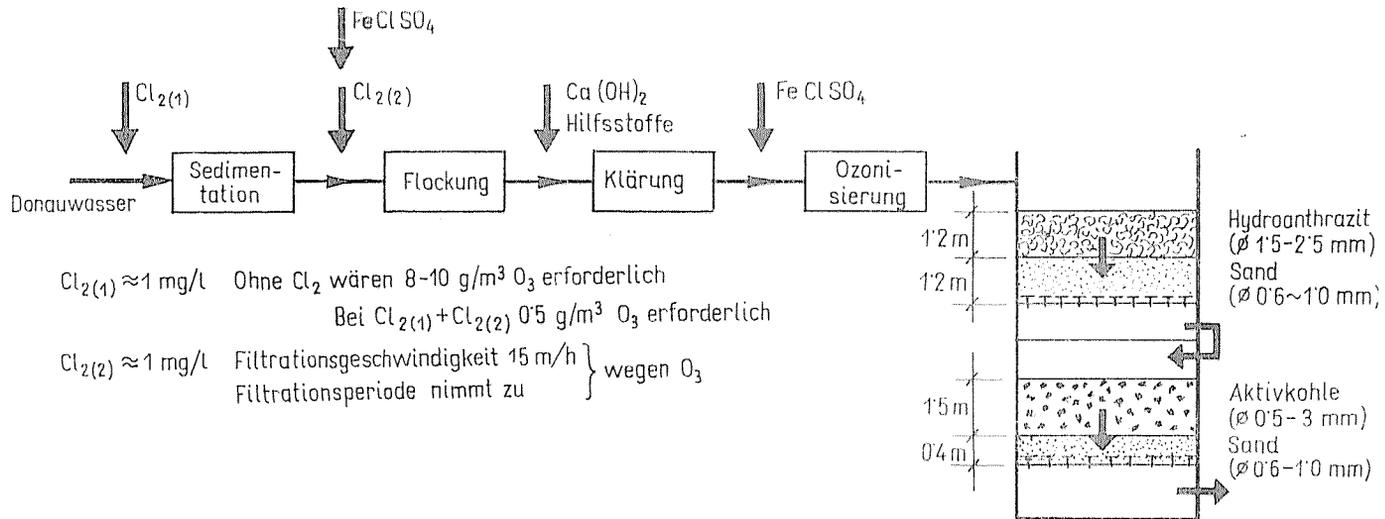


Abb. 11. Reinigung des Wassers aus dem Donau-Abschnitt bei Ulm (G. Werner)

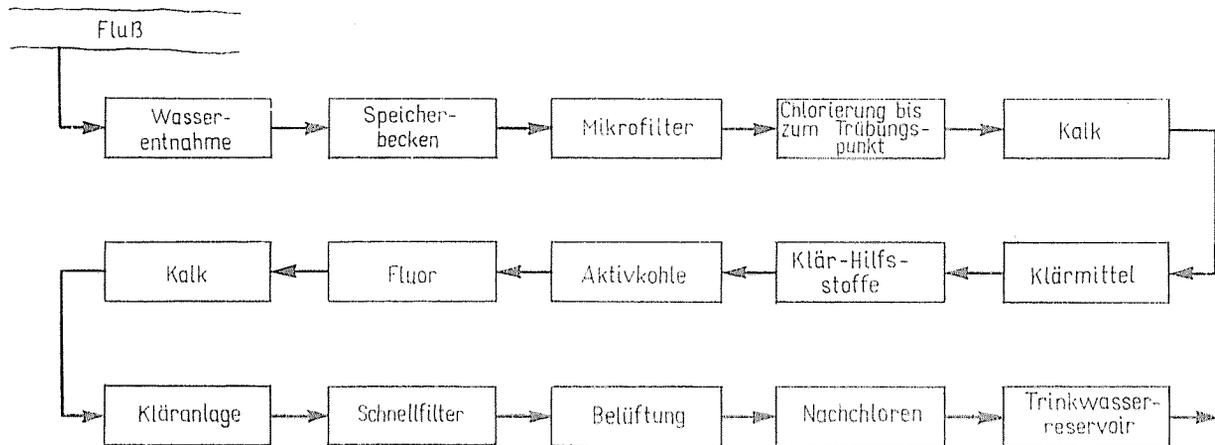


Abb. 12. Reinigungstechnologie des Wasserwerkes Rotterdam

Im Laufe der Forschungen wurden für die Reinigung des Rohwassers zahlreiche Versuche unternommen. Abb. 11 stellt die vorgeschlagene Reinigungstechnologie annähernd dar; deren Hauptzüge sind wie folgt:

— Das Vorchloren hat zum Ziel, den Gehalt an organischen Substanzen des Wassers noch der Ozonisierung *vorangehend* zu vermindern. Dadurch läßt sich die erforderliche Ozonmenge bedeutend herabsetzen.

— Für die Flockung eignet sich FeClSO_4 am besten.

— Durch die der Ozonisierung vorangehende FeClSO_4 -Behandlung wird (gleichzeitig mit der Ozonisierung) das Haften der nach der Klärung noch vorhandenen Flockenstoffe an der Hydroanthrazitschicht begünstigt.

— Die auf die Ozonbehandlung folgenden Filtrationsvorgänge stellen eine Schnellfiltration mit einer Filtrationsgeschwindigkeit von 15 m/h dar.

8. Die Wasseraufbereitungstechnologie der Wasserwerke Rotterdam

Schließlich soll noch die Reinigungstechnologie der Wasserwerke Rotterdam erwähnt werden. *Das Rohwasser* (Oberflächenwasser) *ist hier stark verunreinigt*. Dementsprechend erfolgt die Reinigung in Stufen, die sich in Abb. 12 verfolgen lassen.

Das Wasser wird aus dem Wasserlauf in einen gewaltigen Speicherraum geleitet. Hier bewegt sich das Wasser zwischen Zwischentrennwänden (im Labyrinthsystem), die einen längeren *Aufenthalt* gewährleisten. Inzwischen ist auf eine natürliche Oxydation der Phenole, auf Selbstreinigung zu rechnen.

Der *Mikrofilter* ist dazu bestimmt, die Entfernung der Planktone aus dem Wasser zu begünstigen, während die *Aktivkohle* die Entfernung der Geschmacks- und Geruchsstoffe zur Aufgabe hat. Die *Belüftung* nach dem Schnellfilter soll eine weitere Entfernung der Geschmacks- und Geruchsstoffe bzw. die Erhöhung des im Wasser gelösten Sauerstoffgehalts herbeiführen, und dient gleichzeitig für den Fall einer Verschlechterung der Rohwasserqualität als *Reserve*.

9. Schlußfolgerungen

Anhand des angeführten Materials läßt sich aus der Analyse der Technologien feststellen, daß der *Reinigungsprozeß anhand von halbtechnischen Versuchen*, nach gründlicher Analyse zu wählen ist.

Auch Ozon und Aktivkohle gewinnen neben der Langsamfiltration an Wichtigkeit.

Grundlegend wichtige Aufgaben sind:

— Die Entwicklung von *Klärmitteln*, die sich an ein *gegebenes* Rohwasser, an dessen Qualitätsänderung optimal anpassen, eine rationelle Analyse von deren tatsächlicher Wirkung auf die Verflockung.

- Bestimmung des Platzes der *Schnellfilter* in den Reinigungssystemen.
- Entwicklung von *zeitgemäßen Langsamfiltern* und eine nähere Bestimmung des Aufgabenkreises der Langsamfiltration, unter besonderer Berücksichtigung der Entfernung von Mikroverunreinigungen (vor allem von Geschmacks- und Geruchsstoffen).
- Klärung der Anwendungsbedingungen von *Aktivkohle*, unter besonderer Berücksichtigung der Geschmacks- und Geruchsstoffe sowie der in gewissen Fällen vorkommenden Anreicherung von Mikroorganismen in den Schichten.
- Bei der Anwendung der *Ozonbehandlung* sind die wirtschaftlichen Betriebsbedingungen (eine Verminderung der Menge der zu oxydierenden Stoffen z. B. durch Vorchloren), ferner die Anwendungsbedingungen des Ozons, sein Platz im Reinigungssystem zu klären.
- Es ist erwünscht, zwischen *Wasseraufbereitungsanlage und Ortsnetz* eine rationelle Verbindung zu schaffen, um etwaige Probleme hinsichtlich der Trinkwasserqualität zu vermeiden.
- Auch ist zu erwähnen, daß die Zukunft der *Uferfiltration* — als eines Vorgangs der Reinigungstechnologie — in Anbetracht der Verschlechterung der Rohwasserqualitäten unbedingt der Klärung bedarf.

Zusammenfassung

Aufgrund der bei seiner UNO (WHO)-Studienreise in Westeuropa gemachten Erfahrungen gibt Verfasser eine Übersicht über die Hauptentwicklungsrichtungen der Wasseraufbereitungstechnologien: er führt Beispiele an und weist auf die Aufgaben der Zukunft hin.

In der Abhandlung werden die Tendenzen auf dem Gebiet der theoretischen Entwicklung der Schnellfiltration, die Vorteile des Einsatzes von Mehrschichtfiltern, die Vorteile der Langsamfilter und der Grundwasseranreicherung (sowie deren Platz in der Wasseraufbereitungstechnologie in der Zukunft), die Probleme der Chlorierung und der Ozonisierung, der Wasserbehandlung mit Aktivkohle angedeutet, sodann werden am Beispiel einiger Wasserwerke die wegen der Verschlechterung der Rohwasserqualität erforderlichen, komplexen Technologien gezeigt.

Schließlich wird betont, daß die Wasserreinigungstechnologien anhand von Versuchen in halbtechnischem Maßstab, weitgehend an die jeweilige Rohwasserqualität angepaßt, zu entwerfen sind.

Schrifttum

1. SCHMIDT, K.: Die Abbauleistungen der Bakterienflora bei der Langsamfiltration und ihre Beeinflussung durch die Rohwasserqualität und andere Umwelteinflüsse. Veröff. der Hydrologischen Forschungsabteilung der Dortmunder Stadtwerke AG. Nr. 5. 1963.
2. SCHMIDT, K.: Das Langsamfilter als offenes biologisches System. Veröff. der Hydrologischen Forschungsabteilung der Dortmunder Stadtwerke AG. Nr. 9. 1966.
3. IVES, K. I.: Deep filters. Symposium of Chemical Eng. Group of the Soc. of Chemical Industry and the Inst. of Chemical Engineers. Manchester. 23—24 March. 1965.
4. MINTZ, D. M.: Preliminary treatment of water before filtration. Int. Water Supply Congress and Exhibition. Vienna. 1969. Sp. Subject Nr. 6.
5. IVES, K. I.: Theory of filtration. Int. Water Supply Congress and Exhibition. Vienna. 1969. Sp. Subject Nr. 7.

6. 100 Jahre Wasserversorgung der Stadt Zürich. Zürich 1968.
7. The water supply of London. Metropolitan Water Board. London 1961.
8. WIDMER, H. P.: Die Trinkwasserversorgungsanlagen der Stadt Basel. Regio Basiliensis. H. VII. 2. 1966.
9. Trinkwasser, ein künstliches Gut. Hardwasser AG. Basel 1963.
10. IVES, K. I.—SHOLJI, I.: Research on variables affecting filtration. Proc. ASCE.SA 4. Aug. 1965.
11. ÖLLÖS, G.: Die Rolle des Langsamfilters in der Wasserreinigung.* Hidrológiai Közlöny, H. 1. 1970.
12. ÖLLÖS, G.: Die wachsende Rolle der Grundwasseranreicherung.* Vízügyi Közlemények. No. 1. 1970.
13. ÖLLÖS, G.: Die Bodenfiltration, eine Methode zur Entfernung von Mikroverunreinigungen.* Ungarisches Verein für Hydrologic MTESZ, Bericht 1969.
14. ÖLLÖS, G.—BORSOS, J.: Wasserversorgung — Kanalisation. I.* Tankönyvkiadó, Budapest 1969.

* In ungarischer Sprache.

Dozent Dr. Géza ÖLLÖS. Budapest XI., Műegyetem rkp. 3. Ungarn