ABWASSER-FISCHTEICHE

Von

PROF. Dr. W. FEHLMANN, SCHAFFHAUSEN

Dozent an der E. T. H. Zürich

Sonderabdruck

aus der „Schweizerischen Zeitschrift für Strassenwesen"

Nr. 25/26, Jahrgang 1928



N. 44 m

1928

Buch- und Verlagsdruckerei Vogt-Schild, Solothurn.

Abwasser-Fischteiche.

Die Anwendung von Fischteichen zur Nachreinigung von Rieselfeldabflüssen oder Ausläufen biologischer Körper ist schon sehr lange bekannt. Die selbständige Verwendung solcher Teichanlagen zum Zwecke der Abwasserreinigung ist erst seit der Jahrhundertwende aufgekommen und zwar dank den eingehenden Studien und der suggestiv wirkenden Persönlichkeit des Münchner Hydrobiologen und Fischerei-Spezialisten, Prof. Dr. Bruno *Hofer*.

Die Prinzipien, nach denen die Hofer-Anlagen, wie auch die früheren, nach *Oesten*, *Cronheim* und andern angelegten Teiche arbeiten, sind in allen Fällen dieselben, woraus hervorgeht, dass eine einheitliche Besprechung für alle vorgenommen werden kann.

Vorausgeschickt sei, dass alle Fischteichanlagen sich ausschliesslich auf organische Abwässer beziehen, dass also die aus chemischen Fabriken, aus Färbereien, Bleichereien, Sulfitcellulosefabriken und allen Etablissementen der Schwerindustrie abfliessenden Abfallstoffe durch Fischteiche nicht gereinigt werden können. Für diese Abwässer sind bekanntlich Spezialverfahren notwendig, deren Bestimmung und Auswahl von Fall zu Fall gesondert vorgenommen werden muss. Es reiht sich also die Abwasserbehandlung durch Fischteiche in die grosse Liste der sog. « biologischen Verfahren » ein. Daraus folgt sofort auch, dass das Fischteichverfahren in seinem innern Wesen diesen übrigen biologischen Methoden verwandt sein muss, auch wenn es äusserlich scheinbar sich in allen Zügen von ihnen unterscheidet.

Die Grundprinzipien, nach denen die Abwasserfischteich-Anlagen arbeiten, lassen sich am ehesten charakterisieren mit dem bekannten Schlagwort: *Selbstreinigung des Wassers.*

Die Selbstreinigung des Wassers.

Die Frage der Selbstreinigung des Wassers ist auch heute noch in vielen Punkten ein ordentlich umstrittenes Wissensgebiet, und demnach sollen im Folgenden auch nur diejenigen Seiten herausgegriffen werden, die heute als einigermassen gesichert betrachtet werden dürfen. Dies umso mehr, als bekanntlich der Vorgang der Selbstreinigung eine immer wieder wechselnde Gestalt annimmt, je nachdem der Bearbeiter von einem Standpunkt aus das Problem angreift. Der Physiker, der Chemiker, der Bakteriologe und der Hydrobiologe sehen eben mit Augen, die in besonderer Richtung spezialisiert und geübt sind und urteilen von einem durchaus differenten Fundament aus. Daraus ergibt sich die leider nicht gerade vorteilhafte Folgeerscheinung, dass die verschiedenen, an der Selbstreinigung mitwirkenden Faktoren in ihrer Bedeutung ganz verschieden gewertet werden. Spielen dann gar noch die besonderen Kenntnisse und Interessen des Technikers mit hinein, wie dies bei der Erstellung von Abwasserreinigungsanlagen unvermeidbar ist, dann muss man sich nicht wundern, wenn heute oft diametral entgegengesetzte Urteile über Wesen und Wert des einen oder andern auf der Selbstreinigung basierenden biologischen Reinigungsverfahrens laut werden. Eine absolut neutrale, völlig objektive und vorurteilslose Bewertung der verschiedenen Methoden dürfte also heute aus vorgenannten Gründen der verschiedenen Einstellung zum Wesen der Selbstreinigung kaum zu finden sein.

In seinem Handbuch der Hygiene, Bd. II, Städtereinigung, gibt *Weyl* folgende Aufzählung der verschiedenen, an der Selbstreinigung mitwirkenden Faktoren: 1. Licht, 2. Temperatur, 3. Bewegung des Wassers, 4. Zutritt des Sauerstoffes, 5. Tätigkeit lebender Zellen, 6. Länge des Flusslaufes, 7. Sedimentierung, 8. Verdünnung. Dabei unterscheidet er eine eigentliche Selbstreinigung, d. h. eine absolute Entfernung der Schmutzstoffe, eine Umwandlung in unschädliche, mineralische Substanz (« Mineralisierung ») und eine uneigentliche Selbstreinigung, welche die verunreinigenden Bestandteile nicht wirklich entfernt, sondern sie nur relativ zur Wassereinheit verringert.

Vom biologischen Standpunkt aus, also unter dem Gesichtspunkt sämtlicher biologischer Abwasserreinigungsmethoden betrachtet, sind die Prozesse der uneigentlichen Selbstreinigung, wie z. B. Sedimentierung und Verdünnung, mechanische Zerkleinerung und Lösung, lediglich als Vorstufen aufzufassen, wogegen das Hauptgewicht der ganzen Verfahren auf die Tätigkeit der lebenden Zellen verlegt wird.

Bekanntlich herrschte um die Jahrhundertwende die *Pettenkofer'sche* Anschauung, es seien vor allem die Bakterien, denen die Hauptrolle beim Abbau der organischen Substanz zukomme. Seither ist vor allem unter Führung von *Hofer, Siegl, Graf* und *Lauterborn* diese ältere Ansicht dahin erweitert worden, dass den Bakterien wohl eine gewisse vorbereitende Aufgabe zukomme, dass ihre Tätigkeit im Gesamtleben eines Abwassers aber nur einen Ausschnitt darstellt, indem sie die hochmolekularen Eiweissverbindungen, die Kohlenhydrate und, wenn auch nur in beschränkterem Masse, die Fette abbauen, bis zur Stufe sogar der einfachsten Verbindungen wie Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Schwefelsäure, Kohlensäure, salpetrig- und salpetersauren Salzen Sie bereiten so die Nahrung für Algen und Pilze, für höhere Pflanzen und für die niedere Tierwelt. Sie dienen selber den Protozoen, vor allem den Infusorien als Futter und eröffnen so den eigentlichen durchgreifenden Selbstreinigungsprozess. Dieser besteht also darin, dass diese genannten, höher organisierten Lebewesen, die Algen, die Protozoen, die Würmer, Krebse, Insektenlarven, Schnecken usw., die Schmutzstoffe selber und die aus ihnen entstandenen pilzlichen Lebewesen in ihren Körper aufnehmen, und damit durch den Vorgang der Assimilation die tote Schmutzsubstanz in lebendes Material umwandeln. Die eigentliche Selbstreinigung besteht also nach biologischer Anschauung darin, dass Millionen und Milliarden von Tieren und Pflanzen in unablässigem Fressen und Assimilieren das Wasser reinigen, jedes Bröckchen ungelöster Substanz in tierisches Fleisch umwandeln. Die niedern Tiere werden von den höhern gefressen und eine Inkarnation folgt so der andern bis hinauf zum Fisch und zum Vogel, der dann selber wiederum auf der menschlichen

Tafel anlangend, den Kreislauf der organischen Substanz von neuem eröffnen muss. Selbstreinigung ist also ein ständiges Abbauen hochkomplizierter Verbindungen in engstem Kontakt mit Assimilieren, Fressen und Gefressenwerden. Sie ist kein eigentlicher Zerstörungsprozess, *keine ausschliessliche Mineralisierung*, sondern eine Transformation der toten organischen Substanz in lebende, eine regressive und eine progressive Metamorphose zugleich, von der leblosen Substanz durch Hunderte und Tausende von Inkarnationen von Pflanze zu Tier, von Tier zu Tier und schliesslich zum Menschen.

Im freien Wasser spielt sich dieser Verlauf stufenweise ab, indem die einzelnen Faktoren in ganz gesetzmässiger Reihenfolge einander ablösen, sodass bekanntlich sich vollständige Systeme dieser Schmutzwasserorganismen aufstellen liessen. Ich erinnere z. B. nur an das *Kolkwitz-Marsson'sche* Saprobiensystem. Wenn auch dieses System, wie überhaupt jedes von uns in die belebte Natur hinein gedachte Schema, seine sehr grossen Mängel hat, so vermag es doch als bequemes Handwerkszeug auch für das Folgende zu dienen. Das genannte System enthält bekanntlich die drei grossen Gruppen von Saprobien, nämlich «die Schmutzfinken erster Ordnung» *(Thienemann)*, die Polysaprobien, dann die Mesosaprobien und die Oligosaprobien. Polysaprobien wären z. B. die Bakterien aus der Gattung Sphaerotilus, viele Infusorien und Amoeben, die roten, blutkiementragenden Zuckmückenlarven und insbesondere die Borstenwürmer aus der Gattung Tubifex und die echten Pilze Leptomitus und Fusarium. Diese Organismen beherrschen also in geschlossener Biocoenose die polysaprobe Zone, d. h. die Strecke dicht unterhalb einer Einmündung organischen Abwassers in einen reinen Vorfluter. An sie schliessen sich die Mesosaprobien an, und diese werden weiter flussabwärts abgelöst von den Oligosaprobien. Mit ihnen schliesst der Prozess der Selbstreinigung des Wassers ab. Die Verunreinigung ist beseitigt, das Wasser nicht mehr fäulnisfähig und hat also damit den Charakter eines reinen Baches oder Flusses.

Selbstreinigung und biologische Abwasserreinigungsverfahren.

Auf Grund der vorstehenden Besprechung lassen sich sämtliche Reinigungsverfahren in zwei grosse Gruppen scheiden, nämlich:

1. *Die physikalisch-chemischen Verfahren*, also Methoden, bei denen Sedimentierung, Verdünnung, Fällung und dergleichen angewendet wird.

2. *Die biologischen Verfahren*, bei denen die Erreichung der eigentlichen Selbstreinigung, d. h. die völlige Entfernung aller Schmutzstoffe, auch der gelösten, angestrebt wird. Das Hilfsmittel dazu bilden die Organismen des Mineralisierungsprozesses und im Anschluss daran die oben genannten Lebewesen höherer Ordnungen. Dabei ist nun denkbar, dass entweder den natürlichen im Wasser selber sich abspielenden Vorgängen möglichst weitgehend Rechnung getragen wird, oder dass der ganze Prozess aus dem Wasser quasi herausgenommen und in ein anderes Milieu übertragen wird. Es bietet sich ferner die Möglichkeit, nur einzelne Abschnitte des ganzen, langen Verlaufes der Selbstreinigung in Wirkung treten zu lassen, also spezielle Gruppen der Selbstreinigungsorganismen auszunützen oder aber den Prozess zu erweitern bis eventuell zur Anwendung des vollen Systems, das die Natur im Wasser zur Verfügung stellt. Im weiteren ist möglich diese Selbstreinigungskomponenten ohne weitere Verwertung arbeiten zu lassen, oder aber die von ihnen aus den Schmutzstoffen des Abwassers gebildeten Produkte für die menschliche Wirtschaft nutzbar zu machen. Demzufolge lassen sich die biologischen Abwasserreinigungsverfahren in ein Schema bringen, wobei allerdings auch hier wieder von vorneherein zugegeben werden soll, dass jede Schematisierung der Natur Zwang antut.

Uebersicht über die biologischen Abwasserreinigungsverfahren.

A. Verfahren mit Benützung der Bodenorganismen. (Edaphon.)

1. Ohne Nutzung der Abwasserdungstoffe.
   Intermittierende Bodenfiltration.
2. Mit Nutzung der Abwasserdungstoffe.
   Rieselfelder.
   Eduardsfelder Spritzverfahren.
   Düngende Feldberegnung.

B. Verfahren mit Benützung der Wasserorganismen.

I. Mit Benützung der Bakterien.

1. Ohne Nutzung der Abwasserdungstoffe.
   Faulkammern, Fosses Mouras, Emscher Brunnen, Oms Brunnen, Neustadter Becken usw.
2. Mit teilweiser Nutzung der Abwasserdungstoffe.
   Dieselben wie vorstehend, also Faulkammern etc. unter Anbringung von Vorrichtungen zur Gasgewinnung.

II. Mit Benützung von Pilzen und Protozoen.
   Aktiviert-Schlammverfahren.

III. Mit Benützung der Polysaprobien.
   Füllkörper.
   Tropfkörper.

IV. Gesamtselbstreinigungsverfahren. (Mit Ausnutzung aller Abwasserdungstoffe.)
   Hofersches Fischteichverfahren.

Es handelt sich also, wie oben schon betont, um innerlich verwandte Methoden, was vielleicht auf den ersten Blick als etwas riskierte Behauptung erscheinen dürfte, besonders gegenüber Zusammengruppierungen wie Rieselfeld und Fischteich. In Wirklichkeit liegen aber die Verhältnisse so, dass die Lebewelt des Edaphon mit derjenigen des Wassers äusserst nahe verwandt ist, derart sogar, dass manche Spezies an beiden Orten sich gleichermassen beteiligen. Was Tubifex im Wasser, resp. im Schlammboden der verunreinigten Gewässer leistet, das besorgt sein systematisch so nahe Verwandter, unser Regenwurm, analog im Ackerboden. Auch er frisst sich durch den ganzen Berg von Sediment, durch

das faule Herbstlaub, durch Dünger und Unrat, den Mensch und Tier ihm servieren, hindurch und besorgt dabei das Geschäft der Mineralisierung. So liessen sich noch viele Parallelen aufstellen. Leider scheinen aber dem Ackerboden gewisse Komponenten zu fehlen, die gerade für stark wasserhaltiges Medium von durchschlagender Bedeutung sind. Daher dürfte es rühren, dass die Abflüsse der Rieselfelder noch reichlich gelöste Stoffe mitführen, sodass unter Umständen die Dränwässer einer Nachreinigung unterzogen werden müssen. So ist bekannt, dass Rieselfeldabflüsse in Berlin eine Massenentwicklung von Leptomitus lacteus aufweisen, derart, dass sogar gelegentlich, um Verstopfungen zu vermeiden, diese Pilzwucherungen ausgeschaufelt werden müssen. In solchen Fällen schreitet man dann zu Doppelrieselungen wie in Berlin, Bromberg, Lichtenberg usw., oder zu einer Nachreinigung in Fischteichen, wie sie heute bei ungefähr der Hälfte der deutschen Rieselstädte nachgeschaltet worden sind.

Vom biologischen Standpunkt aus darf unzweifelhaft das Verfahren als vollkommenstes bezeichnet werden, das den natürlichen Reinigungseffekt am weitesten erreicht. Das ist nun unstreitig beim Hofer-Verfahren der Fall, wogegen, wie schon aus der Tabelle hervorgeht, alle andern, mit Benützung der Wasserorganismen arbeitenden Methoden, bei Teilerfolgen stehen bleiben. Ausserdem vermögen sie, abgesehen von der Gasgewinnung, einen Nutzeffekt aus den Dungstoffen nicht herauszuwirtschaften, liefern also selber auch keinen Beitrag an Verzinsung oder Amortisierung des Anlagekapitales oder an die Tilgung der Betriebskosten. Es darf ferner nicht übersehen werden, dass alle diese andern Verfahren in der Hauptsache Baukosten verursachen, bauliche Anlagen erfordern, die später, nach Ausserbetriebsetzung der betr. Wasserreinigungsanlage völlig wertlos sind, ja sogar wesentliche Auslagen zur Beseitigung der Betonbauten erfordern, wogegen die finanziellen Aufwendungen für Hofer-Anlagen vor allem im Landerwerb liegen und somit nach Auflassung der betr. Anlage in keiner Weise abgeschrieben werden müssen.

Gegenüber den Methoden mit Benützung von Pilzen und Protozoen und gegenüber den Tropfkörperverfah-

ren besitzt die Hofer'sche Methode den weitern Vorteil, die bei der Selbstreinigung in Riesenmengen entstehenden Mikroorganismen im Betrieb selber zu beseitigen, wogegen die genannten andern Methoden gezwungen sind, zur Vermeidung einer Sekundärverunreinigung des Vorfluters diese Lebewesen irgendwie abzufangen und mit besondern Einrichtungen zu beseitigen.

Das Hofer'sche Fischteichverfahren.

Wie oben gezeigt wurde, war Hofer einer der bedeutendsten Forscher auf dem Gebiete der Selbstreinigung des Wassers. Die aus seinen Untersuchungen sich ergebenden Erkenntnisse brachten ihn dazu, den Versuch zu machen, in einer künstlichen Anlage die natürliche Selbstreinigung auf möglichst engem Raum in maximale Wirkung zu setzen. Die nötigen Erfordernisse lagen für ihn klar zu Tage, nämlich, es musste alles sowohl in Bau wie in Handhabung der Reinigungseinrichtungen den beteiligten Lebewesen optimale Bedingungen zu schaffen suchen. Rein technische Fragen hatten in den Hintergrund zu treten gegenüber den biologischen. Damit ist auch die wichtigste Vorbedingung völlig klar, nämlich die *Fernhaltung* aller Gifte. In dieser Hinsicht ist insbesondere an die bei der Fäulnis von im Abwasser enthaltenen Eiweisstoffen entstehenden schweren Gifte, Ammoniak, Fettsäuren, Putrescin, Cadaverin etc. zu denken. Daraus folgt aber auch sofort die Forderung, dass das Abwasser in *frischem* Zustande der Bearbeitung unterzogen und dass Fäulnis um jeden Preis verhindert werden muss. Als Konsequenz ergibt sich, dass Hofer-Anlagen frei sind von jeder Geruchsbelästigung.

Bei dieser Gelegenheit darf vielleicht rasch ein kleines Streiflicht geworfen werden auf die Bedeutung anderer Reinigungsverfahren für die Lebewelt des Vorfluters. Da nämlich aus den eben betonten Feststellungen entnommen werden kann, dass Fäulnisstoffe starke Organismengifte sind, so ergibt sich die logische Folgerung, dass alle diejenigen Reinigungsverfahren, welche ein mit solchen Fäulnisprodukten angereichertes Wasser in einen Vorfluter einführen, für diesen eine beträchtliche Schädigung bedeuten. Nur *frisches* Abwasser ist der Selbstreinigung leicht zugänglich, alles dagegen, was

aus Faulkammern stammt, muss im Vorfluter erst langwierigen chemischen Umsetzungen unterzogen werden, ehe der ordentliche Prozess der Metamorphose einsetzen kann. Auf der ganzen Strecke, die von solchem vergiftetem Abwasser bestrichen wird, ist somit ein normales Tier- und Pflanzenleben ausgeschlossen, ist die natürliche Biocoenose gestört. Dies gilt sowohl für das noch fäulnisfähige Abwasser selber, wie auch für die sogenannten « haltbaren » Abwässer, also die nicht mehr akut fäulnisfähigen, wie sie heute von einer ganzen Reihe von Brunnenkonstruktionen abgeführt werden. Ein organisches Abwasser durch Fäulnisprozesse «reinigen» und es dann ohne weiteres einem gesunden Vorfluter überantworten, heisst fast, den Teufel mit dem Beelzebub vertreiben. Versucht man, wie ja dies in den letzten Jahren auf Grund vorstehender Erkenntnisse immer mehr angestrebt wird, das frische Abwasser vom Klär- und Faulschlamm getrennt zu halten, so wird wohl die Vergiftung des Abwassers durch Fäulnisprodukte hintangehalten, es wird aber gleichzeitig der Nachteil eingetauscht, dass die gelösten Abwasserbestandteile keiner Reinigung unterzogen werden, dass sie also unverändert in den Vorfluter gelangen und dann dort leicht Anlass zu mehr oder weniger schwer wiegenden Sekundärverunreinigungen werden.

Hand in Hand mit der Verhinderung der Fäulnisbildung geht beim Hoferverfahren selbstverständlich die zweite Forderung, dass anaerobe Prozesse nicht auftreten dürfen. Es muss also in allen Teilen der ganzen Anlage für einen möglichst hohen Sauerstoffgehalt des Wassers Sorge getragen werden. Die daraus sich ergebende Konsequenz ist: Vermeidung tiefen Wassers. Die Teiche, in denen der Reinigungsprozess sich abzuspielen hat erhalten also eine Maximaltiefe von einem Meter. Dies jedoch nur am Unterende beim sog. Abflussmönch. Die mittlere Tiefe beträgt 40 bis 50 cm oder noch weniger bei nur ca. 20 cm Wassertiefe am Ufer. Grössere Tiefen wären bei der überaus geringen Diffusionsgeschwindigkeit des Sauerstoffes im Wasser unzulässig. Die geringe Teichtiefe hat folgerichtig eine weitere. wichtige Konsequenz, nämlich ausgiebige Durchsonnung aller Wasserschichten und dies wiederum be-

wirkt hohe Temperaturen, damit also Intensivierung aller Lebensprozesse der Tiere und insbesondere maximale Assimilationstätigkeit der Unterwasserpflanzen. Aus letzterem wiederum folgt die ständig grösste Beträge erreichende Aufzehrung der vom Tierleben produzierten schädlichen Kohlensäure und als Gegenleistung eine gewaltige Produktion elementaren Sauerstoffes.

Die dritte, unbedingt zu erfüllende Forderung ergibt sich wiederum aus der Kenntnis der Selbstreinigungsfaktoren im freien Wasser. Es ist die Mitheranziehung von Sedimentierung und Verdünnung Die Sedimentierung hat die ganze gröbere Verunreinigung des Abwassers durch ungelöstes Material fern zu halten, um so eine Ueberlastung der Teiche auszuschalten. Der Verdünnung kommt die Aufgabe zu, die Massenentwicklung polysaprober Organismen zu verhindern, vor allem also das Auftreten der pelzartigen Ueberzüge von Abwasserpilzen auf Boden und Ufer der ganzen Anlage hintan zu halten. Damit fällt auch die Gefahr der Sekundärverunreinigung durch die so leicht faulenden Pilzmassen dahin. In gleichem Sinn hat auch ein Abfang der im Abwasser treibenden Fette zu geschehen. Wie oben schon erwähnt wurde, werden Fette meist nur teilweise durch die Mikroorganismen abgebaut. Ausserdem ist diese Zerstörung der Fette ein äusserst langsam sich abspielender Vorgang, so langsam, dass diese Aufgabe im Teich nicht mit der genügenden Intensität und Geschwindigkeit erfolgen kann. Es würden am Teichboden Verschlickungen unvermeidlich sein und damit wäre der pflanzliche Aufwuchs benachteiligt.

Das Lauterborn'sche Gesetz über die Selbstreinigung im Wasser besagt, dass die Grösse der Selbstreinigung direkt proportional ist der absorbierenden Oberfläche der im Wasser enthaltenen Tier- und Pflanzenwelt. Hieraus resultiert, dass für eine Steigerung und Konzentrierung der Selbstreinigung auf möglichst engem Raum die pflanzliche und tierische Oberfläche auf Maximalhöhe hinaufgetrieben werden muss. Es darf somit in den Reinigungsteichen keine Stelle vegetationslos bleiben, sondern es muss angestrebt werden. dass die ganze Wassermasse von der Teichsohle bis zur Oberfläche von pflanzlichem Grün durchwachsen wird, sodass in diesem

Miniaturwald auch die Tierwelt fast uneingeschränkten Ansitz und Lebensraum findet.

Unter solchen extrem günstigen Bedingungen entwickelt sich die gewünschte Masse von Reinigungskomponenten in geradezu unheimlichen Zahlen. Es sind Mengen, die sich füglich mit den, den Astronomen geläufigen Grössen ausdrücken lassen, Mengen für die die Million und die Milliarde bei weitem nicht ausreichen. Dies vor allem in der warmen Jahreszeit. Ganz wie im freien Wasser, so lässt Hofer nun auch im Teich diese Unsummen von Kleinlebewesen, von Krebschen, Würmern, Insektenlarven, Schnecken, Muscheln usw. durch den Fisch vertilgen. Es scheidet damit automatisch die Gefahr der Sekundärverunreinigung des Wassers durch Absterben und Zersetzung dieser Geschöpfe aus; gleichzeitig aber wird das gesamte, aus den Dungstoffen des Abwassers gebildete tierische Eiweiss in hochwertiges Fischfleisch umgewandelt. Der Fisch ist also im Hofer-Verfahren lediglich das, was in den übrigen Anlagen durch die Nachklärbecken repräsentiert wird. Er ist nicht selber Reinigungsfaktor im eigentlichen Sinne, und die vielfach verbreitete Vorstellung, man lasse in den Hoferteichen die Fäkalreste durch Fische ausfressen, ist absolut falsch Der Fisch nährt sich lediglich von den Kleinlebewesen, ganz wie in der freien Natur.

Im Winter, resp. in der trüben Jahreszeit, verlangsamen sich alle Lebensprozesse im Wasser. Vor allem schlägt die Vermehrung der Mikroorganismen ein viel gemächlicheres Tempo ein. In dieser Zeit wäre also der Fisch im Teich gleichbedeutend mit einer Bremsung der Selbstreinigung. Hieraus folgt, dass er da entfernt werden muss. Fischereiwirtschaftlich ist dies aber nun nicht etwa ein nachteiliger Eingriff, sondern die Abfischung der Teiche liegt direkt im Sinne der teichwirtschaftlichen Gepflogenheiten, ja Notwendigkeiten. Jeder Teichwirt, also auch derjenige, der mit Abwasserteichen rein nichts zu tun hat, fischt seine Teiche im Herbst vollkommen ab. Die Jungfische kommen als Besatzware fürs nächste Jahr in besondere, speziell gebaute tiefe Hälterteiche. Die marktfähigen Grossfische werden entweder direkt, oder besser nach Säuberung von dem bei der Abfischung unvermeidlich aufgewirbelten und aufge-

nommenen Schlamm, in einwandfreiem Wasser zum Verkauf vorbereitet.

Die leer gefischten Teiche werden wieder bespannt. Es bilden sich in den noch warmen Herbsttagen wieder Unmengen von Kleinlebewesen, die nun ungestört den ganzen Winter über ihrer Aufgabe nachkommen können. Sobald die warmen Frühjahrstage einsetzen, hebt fast explosionsartig die Neuvermehrung an und nun ist der Zeitpunkt wieder da, wo der in den Hälterteichen reservierte Besatz an Fischen in den Reinigungsteichen voll besetzten Tisch findet.

Die Erfahrung lehrt, dass in einer normal arbeitenden Teichwirtschaft in Mitteleuropa pro Hektare sich etwa vier Zentner Fischfleisch an Karpfen nebst einigen Beifischen erzielen lassen. Die Reinigungsteiche der nach Hofer arbeitenden Anlagen haben dagegen einen mittleren Jahresertrag, wohl verstanden ohne jegliche Fütterung, von 10 bis 12 Zentner pro Hektare zu verzeichnen, d. h. sie liefern ungefähr das dreifache von dem, was eine gewöhnliche Fischzuchtanstalt zu produzieren vermag. Dies entspricht, den Zentner zu rund nur 100 Franken gerechnet, einer Brutto-Einnahme von 1000 bis 1200 Franken pro ha oder pro 2000 Personen.

Es liegt auf der Hand, dass auch im Reinigungsteich, wie in der freien Natur, nicht nur die tiefern Wasserschichten sich beleben, sondern dass auch die Oberfläche selber ein gut Teil am Ganzen mitwirkt. In diesem bestbesonnten Abschnitt entwickeln sich vor allem Unmengen von Pflanzen und darunter zeichnet sich ganz besonders die grüne Wasserlinse aus. Würde man dieses Pflänzchen in den Reinigungsteichen ungestört sich ausbreiten lassen, so wäre die Folge, dass es in wenigen Wochen im Frühsommer die ganze Wasserfläche mit einem dicken, grünen Teppich überziehen würde. Dies wäre aber gleichbedeutend mit einer Ausschaltung der gesamten tiefern Wasserschichten, weil ihnen Sonne und damit Assimilationsmöglichkeit und Sauerstoff fehlen würden. Es ergibt sich also die Notwendigkeit, die Wasserlinse zu bekämpfen. Die Hilfsmittel dafür weist der zweite Name des Pflänzchens, nämlich « Entengrütze » oder « Entenflott ». So kam schon Hofer zu dem seither überall beschrittenen Aus-

weg, die Teichoberfläche mit Enten zu besiedeln. Als geeignetste Rasse erwies sich die zierliche und wirtschaftlich sehr dankbare weisse Pekingente. Sie bildet also heute neben dem Fisch einen zweiten, nicht unwesentlichen Nutzungsfaktor an den Reinigungsteichen. Gleichzeitig belebt und verschönert der kleine weisse Schwan die grünen, landschaftlich reizvollen Miniaturseelein, denen der Uneingeweihte in keiner Weise ihre doch so unappetitliche Aufgabe anzumerken vermag.

Die Leistungsfähigkeit der Abwasserfischteiche ist natürlich, wie diejenige jedes biologischen Reinigungsverfahrens, pro Flächeneinheit eine beschränkte. Die heute im Betrieb stehenden Anlagen verarbeiten pro Hektare die Abwässer von 2—3000 Menschen. Es heisst dies, dass sie etwa 25 Mal mehr Platz brauchen als ein Tropfkörper, 10 Mal weniger als ein Rieselfeld und 37 Mal weniger, als benötigt wird zur düngenden Feldberegnung.

Bezüglich des Reinigungserfolges darf vielleicht am ehesten abgestellt werden auf das Gutachten, das Prof. Dr. *Dunbar*, der Direktor des hygienischen Instituts der Stadt Hamburg, über die Strassburger Anlage abgegeben hat. Er schreibt:

« In Strassburg ist der Reinigungserfolg durchaus zufriedenstellend gewesen. Die Oxydierbarkeit wurde durchschnittlich um 88 Prozent, der organische Stickstoff um 80 Prozent herabgesetzt. » (Der Ablauf enthält dann also noch 20 Prozent org. Stickstoff, beim Tropfkörper sind es 55—58 Prozent und beim Rieselfeld bis zu 72 Proz.) Während das zufliessende Mischwasser eine Durchsichtigkeit von nur 10 cm hatte, betrug diese bei den Abflüssen aus den Teichen 100 cm. Der Sauerstoffgehalt der Abflüsse bewegte sich zwischen 5 und 7 cm^3 pro Liter, die Abwässer waren also hinreichend mit Sauerstoff gesättigt. Sie waren klar, völlig geruchlos und hatten das Aussehen von Trinkwasser. Der Keimgehalt der Abflüsse war an günstigen Tagen von 10 Millionen pro cm^3 im Zufluss auf 10,000 im Abfluss herabgesetzt. Beim Einsetzen der kältern Jahreszeit, wenn die höhern Pflanzen absterben, steigt der Keimgehalt der Abflüsse vorübergehend. Doch ist diese Erscheinung nicht von hygienischer Bedeutung.»

« Eine Insektenplage ist bei den Fischteichen aus dem Grunde nicht zu befürchten, weil die Fische die Insektenlarven fressen.»

« Gelegentlich der Besichtigung am 7. und 8. November 1912 zeigte sich im ganzen Bereiche der Fischteichanlagen in Strassburg keinerlei Geruchsentwicklung. Auch gewährten die Anlagen an keinem Punkte einen unästhetischen Anblick. Beim Trockenlegen der Teiche entwickelten sich keine unangenehmen Gerüche. Der ganze Boden war mit grünen Algen und einem üppigen Bestande höherer Wasserpflanzen besetzt. »

Noch wesentlich besser lautet der Bericht von *Schillinger* über seine Untersuchungen an neueren Anlagen. Er schreibt in der «Allg. Fischerei-Zeitung» Nr. 19, 1924:

«Mit der Projektierung der Münchener Abwasserfischteichanlagen beauftragt, habe ich, um weitere Erfahrungen zu sammeln, Untersuchungen an den bestehenden Anlagen in Grafenwöhr und Amberg in den Jahren 1922 und 1923 vorgenommen. Aus den Ergebnissen möchte ich kurz ein paar Angaben herausgreifen, um die günstige Wirkung der Reinigung darzutun.

Ein scharfes Kriterium für die Reinigung ist die Oxydierbarkeit und die Sauerstoffzehrung. Der Rückgang in der Oxydierbarkeit beträgt bei gutem Funktionieren der Abwasserfischteiche rund 90 Prozent.

Bei den Versuchen über die Sauerstoffzehrung wird aller mit dem Frischwasser zugeführter Sauerstoff am Teicheinlauf nach 14-stündiger Bebrütung aufgebraucht (nahezu 7,6 mg pro Liter), während die Zehrung in der Nähe des Auslaufes auf 0,5 mg zurückgeht, also auch hier eine Abnahme von etwa 93 Prozent.

Die Keimzahlen, welche am Teicheinlauf noch zwischen rund 300,000 und 500,000 pro ccm betragen, verringern sich in der Nähe des Auslaufes auf 120 bis 250.

Die Probe auf Fäulnisfähigkeit des Wassers gibt schon in dem obern Drittel, spätestens in der Mitte der Teiche negative Resultate. Die stark fäulnisfähigen Wasser verlieren also ihre Fäulnisfähigkeit auf dem Verlauf durch den Teich vollständig. Der Gehalt an organischem Sticksoff nimmt um rund 88 Proz. ab, derjenige an gebundenem Ammoniak geht auf dem Weg durch den Teich um rund 97 Prozent zurück.»

Der bekannte Hamburger Fischereidirektor *Lübbert* äussert sich in seinem Gutachten u. a. folgendermassen: «Die Teichanlage bietet dem Besucher einen, auch in ästhetischer Beziehung durchaus befriedigenden Anblick. An keiner Stelle treten irgendwelche für das Publikum vielleicht unangenehme Erscheinungen auf. Im Gegenteil: Die mit klarem Wasser gefüllten, von grünen Pflanzen umrahmten Teichflächen, aus denen an einigen Stellen auch noch kleine Schilfinseln, Seerosen, Wasserlilien u. a. hervorragen, würden entschieden jeder Landschaft zum Schmuck gereichen, namentlich, wenn sie, wie es im Frühjahr und Sommer der Fall ist, mit Hunderten von weissen Pekingenten bedeckt sind.»

Ueber den Boden, der seit drei Jahren im Betrieb stehenden und zur Besichtigung abgelassenen Teiche äussert sich der gleiche Sachverständige folgendermassen:

«Ausserordentlich überraschend war der Anblick des Bodens in diesen beiden Teichen. Mit Ausnahme eines schmalen Gürtels an denjenigen Stellen des Ufers, an denen der Einfluss der Abwässer erfolgt — hier befand sich eine dünne, schwärzliche Schlammschicht — war der Teichboden in beiden Teichen vollkommen frei von Schlamm. Im Teich 4 war er mit einem dichten Rasen von Tausendblatt und Hornkraut bedeckt, in Teich 3, in dem der Pflanzenwuchs geringer war, trat der gelbe Sandboden zutage. Wir liessen einen, der bei der Abfischung beschäftigten Arbeiter an die Stelle des Teiches gehen, an der sich, an den Einlaufrinnen die schmale Schlammschicht befand. Es zeigte sich, dass auch hier die Schlammschicht nur etwa 5 cm hoch war. Da mit den Abwässern sehr erhebliche Mengen von festen Stoffen in die Teiche hinein gelangen, so muss die Schlammzehrung im Teiche selbst ganz ungewöhnlich gross sein.»

Ueber die Fische berichtet die hamburgische Kommission auf Grund einer Fischmahlzeit von am gleichen Tage gefangenen, also nicht erst abgewässerten Fischen:

«Es bot sich eine vorzügliche Gelegenheit, eine Probe darauf zu machen, ob die in Abwasserteichen gehaltenen Fische, wenn sie vor dem Genuss nicht in frisches Wasser gesetzt werden, einen irgendwie unange-

nehmen Geschmack aufzuweisen haben. Die Kostprobe hat nichts derartiges gezeigt. Die dreisömmerigen Karpfen zeichneten sich vielmehr durch einen besonders feinen und zarten Geschmack aus, ohne aber auch nur irgendwie schlammig zu schmecken. Auch den Hechten und Barschen, die gereicht wurden, haftete nicht der geringste fremde Geschmack an. Die Schleien schmeckten wie alle Schleien, die man geniesst, wenn sie nicht einige Tage in fliessendem Wasser gestanden haben, etwas muddig. Das ist nicht weiter verwunderlich, denn der Schlei ist ein Fisch, der sich fast ständig im Mudd des Bodens aufhält. Jedenfalls schmeckten diese Schleien nicht anders, als irgendwelche andern Teichschleien, die man sofort nach dem Fang geniessen würde.»

Schillinger spricht sich über das gleiche Thema l. c. folgendermassen aus:

«Auch eine in der Amberger Anlage von den dortigen Vertretern der Stadt vorgenommene Kostprobe lieferte hierfür wohl den besten Beweis. Die den Abwasserfischteichen direkt entnommenen Karpfen wurden ohne vorhergegangene Wässerung zubereitet. Der Geschmack war so vorzüglich, dass allgemein bedauert wurde, dass nicht eine grössere Menge für die Kostprobe zur Verfügung gestellt wurde. Ein hin und wieder auftretender unangenehmer Geschmack ist wahrscheinlich auf eine sich an den Kiemen ansetzende Blaualge zurückzuführen; nach kurzer Haltung der Karpfen in frischem Wasser verlieren sie diesen Geschmack jedoch vollständig.»

Im übrigen sei, zur nähern Beurteilung dieser Appetitlichkeitsfragen nur noch schnell die Erwägung herangezogen, dass im freien Vorfluter, dem so oft *ohne* jede vorangehende mechanische Klärung die Abwässer zugeleitet werden, von jeher Fische gefangen worden sind, und kein Mensch hat sich irgendwie zu Bedenken veranlasst gesehen, diese sicher unappetitlicheren Tiere zu essen, so wenig wie dies auf anderm Gebiet mit dem Schweinefleisch oder dem direkt mit Stall- oder Abortjauche gedüngten Salat und Gemüse der Fall ist. Im freien Vorfluter könnte man eventuell noch ans Verzehren von Fäkalresten und dergl. denken und daraus weitere Schlüsse ableiten. Beim Klärteichfische ist dies

sicherlich niemals der Fall, denn er bekommt nur mechanisch *vorgereinigtes* Wasser, ohne gröbere Fäkalreste und frisst lediglich die nach soundsoviel Passagen durch Lebewesen umgearbeiteten, in Tierform sich ihm bietenden Düngerstoffe. So ist es auch verständlich, dass der Klärteichfisch mit den meisten Produkten bäuerlicher Teichwirtschaft jeden Vergleich auszuhalten vermag, ja diesen Fischen meisten um ein gutes Stück überlegen ist.

Die Strassburger-Anlage hat bekanntlich mit dem ganzen Elsass den Besitzer gewechselt. Es war mir schon deswegen, ganz besonders aber auch, weil der seinerzeitige Begründer der ganzen Anlage, Prof. *Hofer*, leider schon anno 1914 weggestorben ist, sehr wertvoll, zu erfahren, ob heute, also 14 Jahre nach dem Tod des Sachverständigen, die Anlage, in ganz fremden Händen sich befindend, noch arbeitsfähig sei. Ich verdanke es also recht herzlich, dass der Ingénieur en Chef du Service municipal de la Voie publique et des Egouts, Herr *M. Goehner*, mir unterm 4. April 1928 mitteilt « Die nach dem Muster von Prof. *Hofer* in Strassburg angelegte Versuchsanlage für Abwasserbehandlung ist bis heute noch im Betrieb und bewirkt noch immer eine gute biologische Reinigung der Abwasser. » Herr Ing. *Goehner* berichtet dann auf meine speziellen Fragen, dass allerdings durch die schlechte Witterung in den letzten Jahren der Zuwachs an Fischen etwas geschwächt worden sei und ferner, dass man sich veranlasst gesehen habe, an dieser Versuchsanlage die Art der Wasserzuführung etwas zu ändern und auch die mechanische Vorreinigung, die ursprünglich in einem Geiger'schen Siebrad von 2,5 mm Siebweite und einem Klärbecken bestanden hatte, durch eine Siebanlage von 2 mm Schlitzweite und eine veränderte Kläreinrichtung zu verbessern. Dies ist nicht verwunderlich, war doch die Strassburger-Anlage überhaupt die erste grössere derartige Institution.

Dass in der Heimat des Verfahrens, in Deutschland, weitere Hoferteiche in Aufnahme kamen, dürfte als selbstverständlich zu betrachten sein. Neben einigen kleinern Einrichtungen, wie z. B. Spandau, Zerzabelshof bei Nürnberg usw., stehen heute obenan die grösseren Anlagen für den Truppenübungsplatz Grafenwöhr

und die gesamten Abwässer der Stadt Amberg in Bayern, mit ihren ca. 26,000 Einwohnern.

Für die mechanische Vorreinigung verwendet Amberg eine Kremer-Kläranlage. Diese liefert einen Schlamm mit nur rund 85 % Wasser, also ein Material, dessen Nachbehandlung die üblichen grossen Schwierigkeiten anderweitiger Anlagen weitgehend ausschaltet. Durch völlige Trennung der Faulkammern vom Klärraum ist eine Verunreinigung des Abwassers durch Fäulnisstoffe unmöglich gemacht und gleichzeitig die Schlammbehandlung resp. -Verwertung aus dem übrigen Reinigungsbetrieb völlig abgesondert. Die Durchflusszeit beträgt bei Trockenwetter 2,2 Stunden, sodass das Abwasser noch in völlig frischem Zustand in die Klärteiche gelangt. Dank den bekannten Vorzügen der Kremer-Anlagen ist dieses Abwasser auch so gut wie ganz von den vorher mitgeführten Fetten befreit. Die im Fettfang anfallenden Massen werden zur Verarbeitung auf technische Fette weitergegeben.

Die Verdünnung des Abwassers erfolgt nicht wie in Strassburg, wo der Kalkgehalt des Rohwassers sehr gering ist, mit der fünffachen, sondern nur der zwei- bis dreifachen Reinwassermenge, die in diesem Falle durch eine etwa 1 km flussaufwärts gelegene Quelle geliefert wird. In Strassburg dient Flusswasser zur Verdünnung. Die Zufügung des Verdünnungswassers erfolgt unmittelbar nach dem Passieren der Kremer-Anlage, derart, dass vor dem Eintritt in die Teiche eine gründliche Durchmischung erreicht wird. Die seitherigen Erfahrungen haben aber gelehrt, dass die Vermischung mit dem Reinwasser des Pilzwachstums wegen besser erst im Moment des Einfliessens in die Teiche erfolgt.

Der Einlauf in die Teiche wird so bewerkstelligt, dass einerseits durch Absturz des Wassers und Verteilung mittels untergestellter Prallbrettchen eine möglichst innige Vermischung mit Luft, also Anreicherung mit Sauerstoff erfolgt, anderseits das Abwasser durch weitestgehende Verteilung mittels zahlreicher Einströmungsöffnungen sich möglichst sofort und gleichmässig und innig mit dem Teichwasser vermengt. Neuerdings wird gerade aus Gründen dieser möglichst vollkommenen Durchmischung und Ausnützung aller Boden- und Ufer-

stellen der Teiche, eine sechseckige Form mit Zulauf auf allen Seiten und zentral gelegenem Ablauf empfohlen.

Als Besatzfische kommen in Betracht in erster Linie Karpfen, dann Schleien, Hechte, eventuell Regenbogenforellen und Forellenbarsche. Der Besatz wird je nach der Grösse der Anlage entweder im eigenen Betrieb produziert oder bei ganz kleinen Einrichtungen alljährlich aus einer Fischzuchtanstalt zugekauft.

Die Strassburger-, wie auch die Amberger-Anlage besitzen eine angeschlossene Entenzuchtfarm mit allen neuen Einrichtungen, wie künstliche Brutapparate und besondern Kückenheimen. Ausserdem ist versuchsweise in Strassburg zur bessern Ausnützung der für die Entenzucht nötigen Arbeitskräfte ein Geflügelhof angefügt worden. Die Grasnutzung auf den Teichdämmen ist versuchsweise mittelst Kaninchen und Schafen ausprobiert worden. Es haben sich aber in beiden Fällen Nachteile für die Dämme ergeben, sodass man wieder davon abgegangen ist.

Die ausgezeichneten Erfahrungen, welche sowohl die Strassburger-, wie auch die Amberger-Anlage geliefert haben, führten bekanntlich neuerdings dazu, dass die Stadt München beschlossen hat, ihre gesamten Abwässer in einer gewaltigen Neuanlage zusammen zu fassen und nach mechanischer Vorreinigung grösstenteils in Klärbecken einer Hofer'schen Fischteichanlage zuzuführen. Vorläufig ist hiefür eine Fläche von 233 Hektaren vorgesehen mit einer Erweiterungsmöglichkeit auf 323 Hektaren. Die Projektverfasserin, die « Mittlere Isar » A.-G. rechnet mit einer jährlichen Ertragsmenge von 2330 Zentner Fischfleisch und 1165 Zentner Entenfleisch, d. h. mit einem Bruttoertrag von mindestens 350,000 Fr. pro Jahr. Der weitere Gewinn aus Nutzung des Gefälles zur Produktion elektrischer Energie und die Melioration von Oedland im Erdingermoos durch den Klärschlamm sei hier nur nebenbei erwähnt.

Für die Stadt Nürnberg besteht heute schon, wie oben gesagt, die Klärteichanlage Zerzabelshof. Ausserdem soll laut Pressenachrichten in Nürnberg-Süd eine weitere grosse Klärteichanlage errichtet werden, um die städtischen Abwässer biologisch zu reinigen und teichwirtschaftlich auszunützen. Der Ertrag wird mit 1000 Zentner Fischfleisch veranschlagt.

Zusammenfassung.

Als Resultat aus dem bisher Gesagten ergeben sich für das Fischteichverfahren folgende allgemeine Gesichtspunkte:

1. Unter den biologischen Abwasserreinigungsverfahren nimmt die Methode nach *Hofer* zweifellos die erste Stelle ein, weil sie eine vollständige Beseitigung aller Schmutzstoffe mit gleichzeitig weitest gehender Ausnützung der enthaltenen Düngerwerte gestattet.

2. Die baulichen Vorteile liegen darin, dass verhältnismässig wenig nach Auflassung des Betriebes wertlos werdender Tiefbauarbeit zu leisten ist.

3. Der grösste Teil des zu investierenden Kapitales liegt in Grund und Boden und behält somit seinen Wert.

4. Das Hofer-Verfahren vermag seine Anlagekosten und den Betrieb in mehr oder weniger weitgehendem Masse zu verzinsen, eventuell sogar zu amortisieren.

5. Es liefert einen volkswirtschaftlich wertvollen Ertrag an Fisch- und Entenfleisch. Nebennutzungen, wie z. B. Gasgewinnung aus dem Schlammfaulprozess sind so gut möglich wie bei andern Verfahren.

6. Nachteile des Fischteichverfahrens sind der nicht geringe Platzbedarf, die notwendige Menge von reinem Verdünnungswasser und die öfter nötige wissenschaftliche Kontrolle.

Es steht somit ausser allem Zweifel, dass im Fischteichverfahren ein grosser Fortschritt in der vollkommenen Abwasserreinigung erblickt werden darf und dass es überall da empfohlen werden kann, wo die ihm anhaftenden Nachteile nicht allzu schwer ins Gewicht fallen, wo also genügend Verdünnungswasser zur Verfügung steht und die Terrainverhältnisse die Errichtung von Teichanlagen nicht allzu kostspielig gestalten.