

# Phosphatfällung in der Kläranlage von Uster und Beseitigung des Eisen-Phosphat-Schlammes (1960 und 1966)

Von

E. A. THOMAS

(Aus dem kantonalen Laboratorium Zürich)

## 1. Einleitung

In der Belebtschlammanlage der Gemeinde Uster (20000 Einwohner und Industrieabwässer) werden die im Abwasser enthaltenen Phosphate seit 1959 grösstenteils aus dem Abwasser entfernt. Der dabei erreichte Effekt der Phosphat-Elimination ist sehr befriedigend und preisgünstig. Die Phosphatfällung erfolgt mit Eisenchlorid unmittelbar im Belebtschlammprozess. Über das in Uster und in anderen Kläranlagen des Kantons Zürich erprobte Verfahren und die bisher gewonnenen Betriebserfahrungen wurde verschiedentlich berichtet (THOMAS 1965, dort weitere Angaben).

Sowohl von Gemeindebehörden als auch von Kollegen werden immer wieder Angaben über die Wirkung des Verfahrens im Dauerbetrieb verlangt. Wir erläutern deshalb im folgenden Abschnitt die neuesten Untersuchungsergebnisse der Phosphatfällung aus dem Jahre 1966, ausgeführt mit «Fällmittel» der Chemischen Fabrik Uetikon (Ferrichlorid/Ferrisulfat). Die verwendete Lösung enthielt bis zum 15. April 1966 150 g  $\text{Fe}^{3+}$  pro Liter, dann bis zum 6. Dez. 1966 200 g und anschliessend wieder 150 g pro Liter.

Andererseits werden gelegentlich noch Befürchtungen laut, die als Eisen-Phosphat-Schlamm mit dem überschüssigen Belebtschlamm in den Faulraum der Kläranlage übergeführten, gebundenen Phosphate würden beim Faulprozess wieder in Lösung gehen; bei der Überführung von Faulwasser in die Kläranlage müssten dann diese schon vorher ausgefällten Phosphate erneut ausgefällt werden, was zu erhöhten Betriebskosten führe. Dass dies nicht der Fall ist, haben wir in zahlreichen Experimenten bewiesen (vgl. die erwähnte Arbeit). Es wurde aber gewünscht, diesen Beweis auch aus dem Dauerbetrieb einer Grosskläranlage zu erbringen. Wir besprechen deshalb im dritten Abschnitt die Phosphatfällung in der Kläranlage von Uster für den Fall der regelmässigen Zugabe von Faulwasser ins Vorklärbecken (1960).

Die chemischen Analysen wurden vom Personal der limnologischen Abteilung

des kantonalen Laboratoriums Zürich ausgeführt. — Den Organen des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung danke ich für die Unterstützung der Untersuchungen über die Ursachen der massenhaften Entwicklung von Algen in Seen.

## 2. Phosphatfällung ohne Zugabe von Faulwasser ins Vorklärbecken

Obschon die Bedienung der Kläranlage Uster durch die Gemeinde erfolgt, überprüft doch die limnologische Abteilung des kantonalen Laboratoriums in lockeren Abständen die Wirksamkeit der Phosphatfällung. Bei den gefassten Proben handelt es sich um Mischproben, die jeweils im Verlauf von 24 Stunden einerseits beim Ablauf der mechanischen Anlage und andererseits beim Ablauf des Nachklärbeckens gefasst wurden.

Für die im folgenden besprochene Untersuchungsperiode des Jahres 1966 ist charakteristisch, dass sowohl der Schlamm der mechanischen Klärung als auch der Belebtschlamm und der diesen durchsetzende Eisen-Phosphat-Schlamm in die gemeinsamen Faulräume gepumpt wurden. Von dort wurde im Jahre 1966 sozusagen aller Schlamm einschliesslich des sich beim Faulprozess abscheidenden Faulwassers von den Landwirten der Umgebung landwirtschaftlich verwertet. Das Abführen des Schlammes geschah teilweise auf Kosten der Gemeinde Uster.

Die Zugabe der Ferrichloridlösung erfolgte in Uster bisher beim Zufluss des mechanisch gereinigten Abwassers zur Belebtschlammanlage. Es sei aber bemerkt, dass wir zum Beispiel bei der Kläranlage Küsnacht einen besseren Reinigungseffekt erzielen, wenn wir die Eisenchloridlösung bei einer turbulenten Stelle in den Ablauf der Belebtschlammanlage zugaben; dies mag von der andersartigen Beschaffenheit des Abwassers abhängen. Angestrebt war in Uster vorerst eine Zugabemenge von 10—12 mg  $\text{Fe}^{3+}$  pro Liter Abwasser. Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, war die Eisenchlorid-Zugabe in der Regel geringer und betrug im Durchschnitt rund 10 mg/l. Dadurch waren auch die Kosten für das verbrauchte Fällungsmittel bescheiden. Zur Untersuchungszeit des Jahres 1966 betragen die Kosten für ein Gramm aktives Eisen (in Form einer 32%igen Lösung von  $\text{FeCl}_3$ ) Fr. 0,00116, d. h. Fr. 0,0116 pro  $\text{m}^3$  Abwasser. Einschliesslich des gesamten Industrieabwassers fielen in der Versuchsperiode 820 Liter pro Kopf und Tag an, also bei 20000 Einwohnern 16400  $\text{m}^3$ . Daraus errechnen sich die Chemikalienkosten pro Kopf und Jahr auf Fr. 3.50. Stromkosten fallen ausser Betracht, da hier nur die geringe Energiemenge für die Betätigung der Magnetventile benötigt wurde. Es ist Sache der Gemeinde zu entscheiden, ob Industrien, die viel phosphatreiches Abwasser liefern, eine Sondergebühr für die dritte Reinigungsstufe bezahlen müssen. Dadurch würden die Kosten pro Kopf der Bevölkerung noch geringer.

Gestützt auf die Artikel 2, Absatz 2, und 6 des Bundesgesetzes vom 16. März 1955 über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung sowie auf Artikel 4 der zugehörigen Vollziehungsverordnung vom 28. Dezember 1956 erliess das Eidgenössische Departement des Innern am 1. September 1966 Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer. Nach diesen schweizerischen Richtlinien soll der Phosphat-

gehalten von Abwässern jeder Art, die in Seen (oder deren Zuflüsse) geleitet werden, im Tagesmittel nicht mehr Phosphat enthalten als 2 mg/l, angegeben als  $\text{PO}_4^{3-}$ . Extrem düngstoffreiche Abwässer sollen grundsätzlich weder in Vorfluter noch in Kläranlagen eingeleitet werden. Die Möglichkeit einer landwirtschaftlichen Verwertung ist zu prüfen. Es liegt im Ermessen der kantonalen Gewässerschutzfachstellen, von Fall zu Fall und je nach betrieblichen und örtlichen Verhältnissen höhere Werte bei einzelnen Abwasserkomponenten zuzulassen. Desgleichen ist es Sache dieser Amtsstellen, im Falle von örtlich oder zeitlich massierten Einleitungen der additiven Wirkung wegen die Anforderungen zu verschärfen.

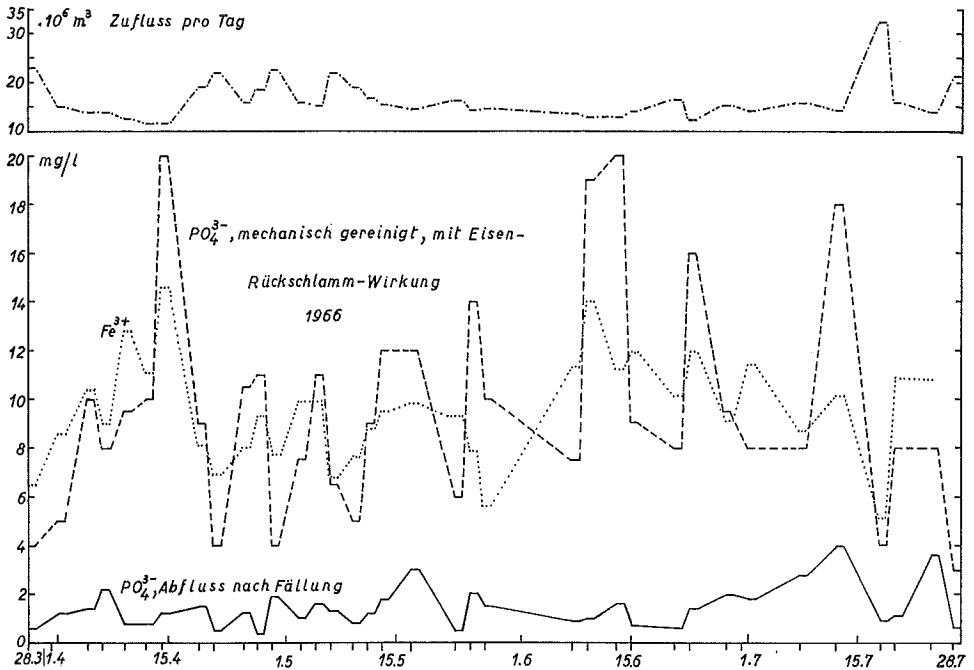


Abb. 1. Phosphatfällung im Dauerbetrieb der Kläranlage von Uster ohne oder nur mit vereinzelter Faulwasser-Rückgabe im Jahre 1966 (Ende März bis Juli). Phosphatgehalt im Ablauf des Vorklärbeckens und im Ablauf des Nachklärbeckens; strichpunktiert der Abwasserzufluss in  $\text{m}^3$  pro Tag. Die Eisenchlorid-Zugabe (punktiert) erfolgte zum Belebtschlammbecken. Unterhalb der Abszissenachse die Probenahmetage markiert.

Im Hinblick auf die schweizerischen Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer strebten wir im Abfluss der Anlage im Tagesmittel einen Phosphatgehalt von höchstens 2  $\text{mg/l}$   $\text{PO}_4^{3-}$  an. Wie aus Abbildung 1 zu ersehen ist, wurde dieser Eliminationseffekt während der geprüften vier Monate fast stets erreicht; im Durchschnitt enthielt der Ablauf des Nachklärbeckens nur noch 1,41  $\text{mg/l}$   $\text{PO}_4^{3-}$ , im Gegensatz zum Ablauf des Vorklärbeckens mit 9,51  $\text{mg/l}$ . Die Phosphatentfernung betrug gegenüber dem Abfluss des Vorklärbeckens im Durchschnitt 85,2%,

wobei allerdings zu bedenken ist, dass nach dem hier angewandten Verfahren der ins Vorklärbecken rückgeführte Eisen-Phosphat-Schlamm bereits eine Vorfällwirkung ausübt. Gegenüber dem Gehalt an gelösten Phosphaten im Vorklärbeckenzulauf wäre der prozentuale Eliminationseffekt sogar grösser.

Für den Gesamtphosphor berechneten wir Durchschnittswerte von 12,92 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  im Ablauf des Vorklärbeckens und 1,89 mg/l im Ablauf des Nachklärbeckens nach Fällung mit Eisenchlorid, was einer prozentualen Phosphatelimination von 85,4% entspricht; auch hier ist aber zu berücksichtigen, dass der Effekt gegenüber dem Zulauf zur mechanischen Anlage grösser ist wegen der Vorfällwirkung des ins Vorklärbecken gebrachten Eisen-Rückschlammes.

Der Abwasserzufluss betrug in der Untersuchungsperiode durchschnittlich 16400 m<sup>3</sup> pro Tag. Aus Abbildung 1 geht hervor, dass bei steigendem Abwasserzufluss die Phosphatkonzentration des mechanisch gereinigten Abwassers kleiner wird. Maximalkonzentrationen treten bei geringem Abwasserzufluss auf. Wie zu erwarten war, wurden die Schwankungen im Phosphatgehalt bis zum Ablauf des Nachklärbeckens gut ausgeglichen. Nachdem der Eliminationseffekt mit der geringen zugegebenen Eisenchloridmenge sehr erfreulich war, kann in ähnlichen Fällen die Zugabe von 10 mg/l  $\text{Fe}^{3+}$  empfohlen werden, womit wir in den Belebtschlammanlagen gute Ergebnisse erzielten. Der Gesamteisengehalt des wegfließenden Wassers betrug oft nur 0,1 mg/l Fe, im Mittel 0,6 mg/l, eine Menge, die auf die Gewässerorganismen keineswegs schädigend wirkt; die schweizerischen Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer lassen 1 mg/l Fe zu. Es sei hier beigefügt, dass beim Dauerversuch in der Kläranlage Männedorf bei Zugabe von 10 mg/l  $\text{Fe}^{3+}$  das aus dem Nachklärbecken abfließende Abwasser stets weniger als 0,06 bis 0,06 mg/l Fe enthielt.

### 3. Phosphatfällung mit Zugabe von Faulwasser ins Vorklärbecken

Bei unseren ersten Phosphatfällungen in Kläranlagen von Gemeinden in den Jahren 1958—1960 massen wir der Rückführung von Faulwasser ins Vorklärbecken hinsichtlich des Phosphathaushaltes in der Kläranlage keine grosse Bedeutung bei, weil trotz der Faulwasser-Rückführung gute Eliminationseffekte im Ablauf des Nachklärbeckens erzielt wurden. Wir untersuchten den Phosphatgehalt des Faulwassers damals nicht programmässig. Als dann die Meinung verbreitet wurde, die bei der Phosphatfällung in Belebtschlammanlagen ausgefällten Phosphate würden bei der Schlammfäulung wieder in Lösung gehen und der vorher aus dem Abwasser eliminierte Phosphor erscheine dann vorwiegend im Faulwasser, führten wir zu dieser Frage eine grössere Zahl von Laboratoriumsexperimenten durch (THOMAS, 1965). Bei diesen Experimenten ging der ausgefällte Eisen-Phosphat-Schlamm unter Faulraum-Bedingungen nicht wieder in Lösung. Die folgenden Ausführungen geben unter anderem Aufschluss über die Phosphatfixation in Faulschlamm von Gemeindekläranlagen.

Es sei hier vorausgeschickt, dass das Faulwasser der mechanischen oder der mechanisch-biologischen Kläranlagen ohne Phosphatfällung einen hohen Gehalt

an gelösten Phosphaten aufweist. In 11 zürcherischen Kläranlagen enthielt das Faulwasser 100 bis über 300 mg/l  $PO_4^{3-}$ , in weiteren 4 Kläranlagen etwas weniger als 100 mg/l. Noch weit höher ist der Ammoniakgehalt des «normalen» Faulwassers mit meist über 200 bis über 2000 mg/l  $NH_3$ . Es ist deshalb erwünscht, dass mindestens ein Teil des Faulwassers landwirtschaftlich verwertet werden kann. Besonders rasch und reichlich werden Düngstoffe frei aus konzentriertem, faulendem Belebtschlamm.

a) Der Phosphatgehalt des Faulwassers der Kläranlage Uster vor und während simultaner Phosphatfällung mit Eisensalz

Im Jahre 1965 fand in der Kläranlage Uster wegen Umbauten des Belüftungsbeckens keine Phosphatfällung statt. Obschon in dieser Zeitperiode wie auch später das Faulwasser zusammen mit dem Faulschlamm fast stets landwirtschaftlich verwertet wurde, war es möglich, den Phosphatgehalt in einzelnen Proben zu bestimmen. Zwischen dem 7. Januar 1966 und dem 23. März 1966 fanden mit Unterbrüchen wieder Zugaben von geringen Mengen von Eisenchlorid statt. Ab 23. März 1966 war die Phosphatfällung normal in Betrieb mit einer durchschnittlichen Eisenchloridzugabe von 10 mg  $Fe^{3+}$  pro Liter Abwasser.

Der im Nachklärbecken anfallende Belebtschlamm wurde, soweit er nicht als Rücklaufschlamm diente, ins Vorklärbecken und von dort in den Faulraum gepumpt; bei der Phosphatfällung im Jahre 1966 war das Vorgehen gleich, wobei der Belebtschlamm innig durchsetzt war von Eisen-Phosphat-Schlamm. Im Faulraum wurde der Schlamm des Nachklärbeckens wie üblich vermischt mit dem Schlamm des Vorklärbeckens. Die Gärungsbedingungen im Faulraum waren im übrigen vor der Phosphatfällung (Ende 1965) und während der Phosphatfällung (im Jahre 1966) soweit möglich gleich.

Über die Ergebnisse dieses Grossversuches orientiert Tabelle 1. Der Ammoniakgehalt des Faulwassers war vor der Phosphatfällung und während der Phosphatfällung etwa gleich hoch, was dafür spricht, dass tatsächlich vergleichbare Versuchs-

Tabelle 1. Phosphatgehalt des Faulwassers der Kläranlage Uster vor und während simultaner Phosphatfällung mit Eisensalz

| Datum der Probeentnahme                                    | pH-Wert | $NH_3$<br>mg/l | $PO_4^{3-}$ -<br>direkt<br>mg/l | $PO_4^{3-}$ -<br>aus Asche<br>mg/l |
|--|---------|----------------|---------------------------------|------------------------------------|
| I. Vor der Phosphatfällung in der Belebtschlammanlage      |         |                |                                 |                                    |
| 6. 12. 65  | 7,7     | 2100           | 260                             | 280                                |
| 15. 12. 65   | 8,1     | 2100           | 240                             | 300                                |
| 20. 2. 66  | 8,0     | 1700           | 220                             | 270                                |
| II. Während der Phosphatfällung in der Belebtschlammanlage |         |                |                                 |                                    |
| 27. 2. 66  | 8,1     | 1960           | 100                             | 115                                |
| 28. 3. 66  | 8,0     | 2040           | 120                             | 140                                |
| 4. 4. 66   | 8,0     | 2200           | 110                             | 130                                |
| 26. 9. 66  |         | 2000           |                                 |                                    |

bedingungen vorlagen. Obschon aber in der II. Periode (26. 2. 66 bis 26. 9. 66) während der Phosphatfällung ständig Eisen-Phosphat-Schlamm in den Faulraum gelangte, wurden die darin gebundenen Phosphate offensichtlich nicht frei; im Gegenteil fand in dieser Periode sogar eine Verminderung des Phosphatgehaltes des Faulwassers statt. Dies deutet darauf hin, dass der Eisen-Phosphat-Schlamm auch im Faulraum befähigt ist, weitere Phosphate zu binden.

Diese Ergebnisse decken sich mit unseren früher dargelegten Ergebnissen von Laboratorium-Experimenten (THOMAS, 1965).

#### b) Die rechnerische Beurteilung von Menge und Phosphatgehalt des Faulwassers der Kläranlage Uster

Um einen Überblick über den Abwasser- und Schlammanfall in zürcherischen Kläranlagen zu erhalten, ersuchten wir die kantonale Baudirektion, Abteilung Wasserbau und Wasserrecht, mit Schreiben vom 18. Nov. 1964 um Mitteilung, wieviel Faulschlamm (einschliesslich Faulwasser) pro m<sup>3</sup> Abwasser bei nur mechanischer, bzw. bei mechanisch-biologischer Abwasserreinigung abgeschieden wird und wieviel Faulwasser pro m<sup>3</sup> Abwasser durchschnittlich in den Klärprozess zurückgeführt werden muss. Solche Verhältniszahlen in allgemeiner Form sind jedoch noch nicht erarbeitet. Hingegen war es Herrn Ing. WILDI, Gewässerschutzingenieur bei der genannten Amtsstelle, für die Kläranlage von Uster möglich, über eine längere Zeitperiode die Tagesmengen der Faulwasser-Rückgabe ins Vorklärbecken zu erhalten, die er — wie in Abb. 2 für 1960 dargestellt — zu Wochenmitteln zusammengefasst hat, ebenso die von der limnologischen Abteilung bestimmten Phosphatwerte für Ablauf Vorklärbecken und Ablauf Nachklärbecken. Die Eisenzugabe wurde von uns in mg Fe pro Liter umgerechnet und in Abb. 2 ebenfalls als Wochenmittel dargestellt. Herrn Ing. WILDI und den Organen der Gemeinde Uster sei hier für die Überlassung des Zahlenmaterials bestens gedankt, besonders auch Herrn Klärwart VETTERLI, Uster, für das pflichtgetreue Notieren aller Zahlenangaben über Wasser- und Schlammengen.

Während im Jahre 1966 fast alles Faulwasser der Kläranlage Uster landwirtschaftlich verwertet wurde, erfolgte im Jahre 1960 während 32 Wochen ein Rück-

Tabelle 2. Vergleich zwischen den mit Abwasser zufließenden und den mit Faulwasser ins Vorklärbecken rückgeführten Phosphaten der Kläranlage von Uster im Jahre 1960

|   |        | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -Gehalt<br>in mg/l | Gesamtzufuhr<br>in kg/Tag |
|---|--------|--|---------------------------|
| Abwasserzufluss pro Tag in m <sup>3</sup>     |        |  |                           |
| maximal (12. und 19. 8. 1960)                 | 30 000 | 11   | 330,0                     |
| im Mittel (Tabelle 3)                         | 12 738 | 11   | 140,1                     |
| minimal (14. 2. 1960)                         | 7 400  | 11   | 81,4                      |
| Faulwasser-Rückgabe pro Tag in m <sup>3</sup> |        |  |                           |
| maximal (neunmal jährlich)                    | 80     | 120  | 9,6                       |
| im Mittel der Anfalltage                      | 16,8   | 120  | 2,0                       |
| im Jahresmittel                               | 11,2   | 120  | 1,3                       |

Tabelle 3. Phosphatfällung im Dauerbetrieb der Kläranlage Uster im Jahre 1960. Monats- und Jahresmittelwerte

| Monat        | Abwasser, mittleres Tagestotal in m <sup>3</sup> | Ablauf Vorklärbecken, mit Eisen-Rückschlamm-Wirkung |  | FeCl <sub>3</sub> -Zugabe in mg Fe pro Liter | Ablauf Nachklärbecken, nach simultaner Phosphatfällung |  |
|--------------|--|---|--|--|--|--|
|              |  | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> gelöst mg/l           | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> aus Asche mg/l |  | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> gelöst mg/l              | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> aus Asche mg/l |
| Jan.         | 11 626   | 9,8   | 18,1   | 5,8  | 2,5  | 4,5  |
| Febr.        | 10 690   | 9,6   | 17,8   | 6,5  | 1,8  | 3,8  |
| März         | 12 645   | 9,4   | 15,4   | 4,4  | 1,9  | 3,1  |
| April        | 10 290   | 16,5  | 25,0   | 7,0  | 4,5  | 6,7  |
| Mai          | 10 407   | 13,8  | 20,5   | 7,5  | 2,7  | 4,2  |
| Juni         | 11 980   | 8,7   | 13,0   | 6,5  | 1,5  | 2,0  |
| Juli         | 12 797   | 7,9   | 12,2   | 5,4  | 1,7  | 2,4  |
| Aug.         | 19 045   | 7,7   | 10,5   | 3,9  | 1,1  | 1,7  |
| Sept.        | 13 903   | 11,7  | 17,0   | 5,2  | 1,5  | 2,3  |
| Okt.         | 14 317   | 11,0  | 15,9   | 5,1  | 1,4  | 2,1  |
| Nov.         | 13 103   | 9,5   | 15,1   | 4,9  | 1,1  | 1,7  |
| Dez.         | 12 057   | 7,3   | 12,8   | 5,5  | 2,0  | 2,8  |
| Jahresmittel | 12 738   | 10,24   | 16,11  | 5,64   | 1,98   | 3,11   |

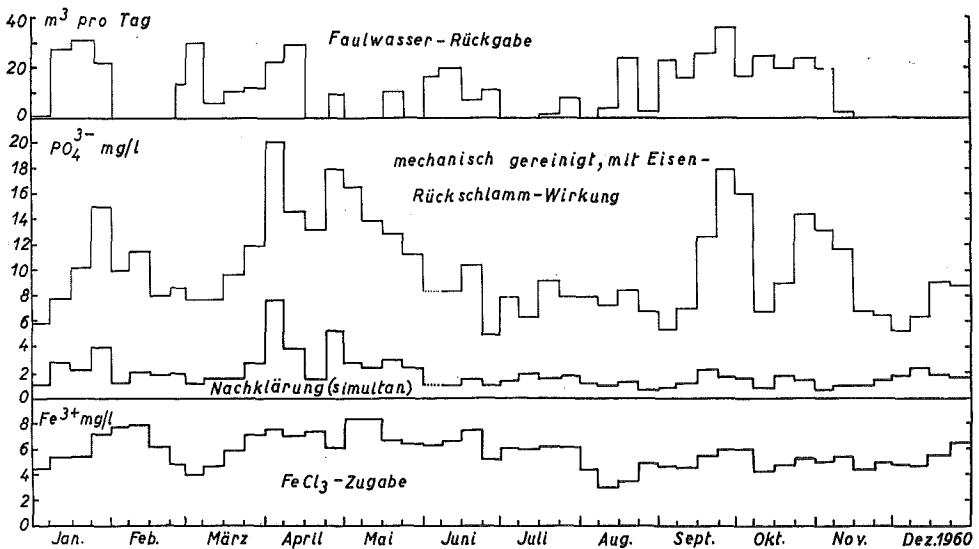


Abb. 2. Phosphatfällung im Dauerbetrieb der Kläranlage von Uster im Jahre 1960; Faulwasser-Rückgabe verglichen mit Phosphatgehalt im Ablauf des Vorklärbeckens und im Ablauf des Nachklärbeckens. Die Eisenchlorid-Zugabe erfolgte zum Belebtschlammbecken (Wochendurchschnitte).

leiten von Faulwasser ins Vorklärbecken der Anlage. Auf Grund von Tabelle 1 sei hier angenommen, dieses Faulwasser hätte im Jahre 1960 120 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  enthalten. Berücksichtigt man die Vorfällwirkung des in das Vorklärbecken rückgeführten Eisen-Phosphat-Schlammes, so kann man gemäss Tabelle 3 ferner annehmen, dass das der Kläranlage zufließende Wasser im Jahre 1960 durchschnittlich mindestens 11 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  enthielt. Daraus berechnet sich Tabelle 2.

Gemäss Tabelle 2 brachte das in die Kläranlage fließende Abwasser im Jahre 1960 täglich durchschnittlich 140,1 kg  $\text{PO}_4^{3-}$  in gelöster Form mit sich; im Mittel der Anfalltage wurden dagegen nur 2,0 kg gelöste Phosphate mit dem Faulwasser ins Vorklärbecken rückgeführt. Auch bei Berücksichtigung der Extremwerte darf man aus Tabelle 2 schliessen, dass das Faulraumwasser auf den Phosphathaushalt der Kläranlage Uster keinen beachtenswerten Einfluss hat.

#### c) Untersuchung über den Einfluss der Faulwasser-Rückführung ins Vorklärbecken auf den Phosphathaushalt in der Kläranlage beim Eisen-Rückschlamm-Verfahren

Mit Hinweis auf Abb. 1 haben wir dargelegt, wie in der Kläranlage Uster schon mit der geringen Eisenmenge von durchschnittlich 10 mg/l  $\text{Fe}^{3+}$  (Eisenchlorid) ohne Faulwasserrückführung eine ausgezeichnete Phosphat-Elimination erreicht wurde. Der Einfluss der Faulwasser-Rückführung ins Vorklärbecken dagegen lässt sich aus Abbildung 2 und Tabelle 3 herauslesen.

Die längste und intensivste Periode der Faulwasser-Rückgabe fiel im Jahre 1960 auf die Monate August bis anfangs November. Obschon in dieser Periode sogar weniger Eisenchlorid-Fällmittel zugegeben wurde als in fast allen anderen Monaten (Tabelle 3), trat doch eine ausgezeichnete Fällwirkung ein! Auch im Monat Juni war trotz niedriger Eisenchlorid-Zugabe und erheblicher Faulwasser-Rückführung die Phosphat-Elimination sehr gut, ebenso im Monat März. In den Monaten April und Mai war der Phosphatgehalt des Vorklärbecken-Abflusses sehr hoch, obschon in beiden Monaten weniger Faulwasser rückgeführt wurde als im September und Oktober (Abbildung 2). Offensichtlich war im April und Mai die Eisen-Zugabe mit 7,0 bis 7,5 mg/l für die Fällung von 16,5 bis 13,8 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  doch etwas zu niedrig (Tabelle 3). Diese Bemerkung gilt auch für die vierte Woche des Monats Januar, weil damals der Abfluss der mechanischen Anlage 15 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  enthielt (Abbildung 2).

Als wichtiges Ergebnis geht aus Abbildung 2 und Tabelle 3 hervor, dass sich in der Kläranlage Uster im Jahresverlauf ein Abfluss mit 2 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  erzielen liess, obschon die Eisenchlorid-Zugabe nur 5,65 mg/l  $\text{Fe}^{3+}$  betrug und obschon während zwei Dritteln des Jahres (1960) Faulwasser in das Vorklärbecken rückgeführt wurde. Während die Faulwasser-Rückführung für den Phosphathaushalt der Kläranlage bei diesem Fällungsbetrieb praktisch ohne Bedeutung war, sei immerhin daran erinnert, dass der Ammoniakgehalt des Faulwassers mit 1 bis über 2 kg  $\text{NH}_3$  pro  $\text{m}^3$  (Tabelle 1) hier ausserordentlich hoch war. — Über die Eisenchlorid-Zudosierung zum Zulauf oder Ablauf des Belebtschlammbeckens gibt Abbildung 3 Aufschluss.



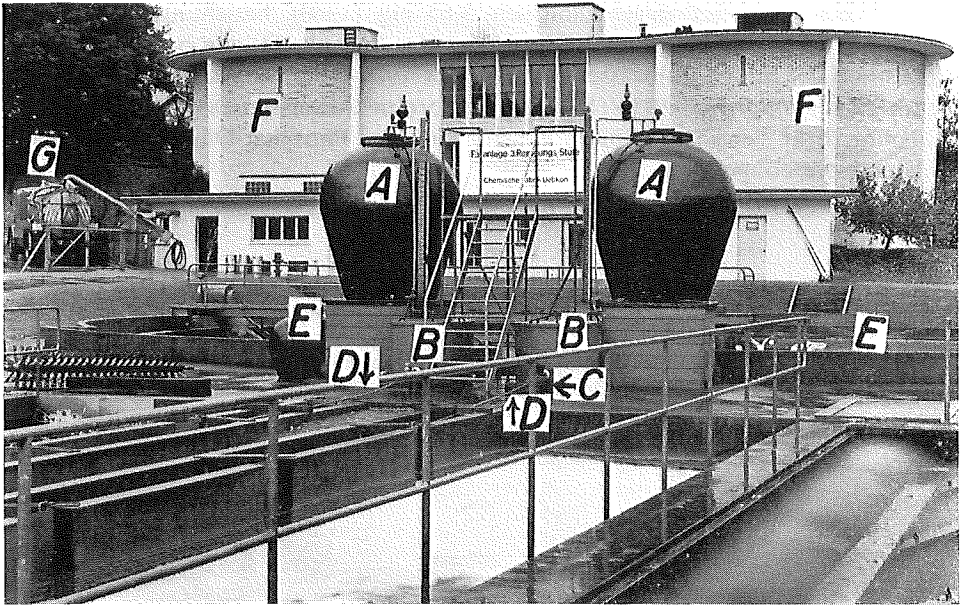


Abb. 3. Phosphatfällung als dritte Reinigungsstufe in der Kläranlage Uster (Eisenrückschlamm-Verfahren, simultan mit Belebtschlammverfahren). A = Vorratsbehälter für  $\text{FeCl}_3$ -Lösung, B = Dosierbehälter für Tageszugabe von  $\text{FeCl}_3$ , C = Magnetventil mit Zugabeschüben alle 10 Sekunden, D = Schlauchleitung für die Überführung des  $\text{FeCl}_3$  in den Zulauf- (oder Ablauf-) Kanal der Belebtschlammanlage (im Vordergrund): hier werden die Schübe fast vollständig ausgeglichen, so dass eine kontinuierliche Zugabe erfolgt, E = rundes Vorklärbecken (mit Möwen), F = Faulräume, im Verbindungsteil die Kläranlageräumlichkeiten, G = Faulschlammabfuhr zur landwirtschaftlichen Verwertung. Die Phosphat-Fällanlage wurde durch die Chemische Fabrik Uetikon erstellt. (Photo M. WEISS.)

Nach einer Mitteilung von Dipl.-Ing. H. BURKHALTER (1966), Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, haben Versuche der EAWAG bei «Nachfällung» gute Resultate ergeben; nach seiner Auffassung dürfte die Eliminationswirkung sicherer sein. Unsere für die Jahre 1960 und 1966 dargelegten Untersuchungszahlen zeigen aber, dass das Ziel der Phosphatelimination in der Grosskläranlage Uster mit «Simultanfällung» gut erreicht worden ist. Ebenfalls vorzügliche Eliminationsleistungen verzeichnen wir bei der Ende 1966 in Betrieb genommenen Phosphatfällung («Simultanfällung») in der Kläranlage Stäfa (Zürichseegemeinde), worüber später zu berichten ist. Die Kosten des Chemikalienaufwandes beliefen sich in Uster 1966 auf ca.  $\frac{1}{8}$  derjenigen einer in Deutschland betriebenen «Nachfällungsanlage». Dass zudem die Baukosten und entsprechend auch die Kosten für Verzinsung und Amortisation für die Nachfällung wesentlich grösser sind als für «simultane» Fällung, ist dem Fachmann bekannt.

#### 4. Zusammenfassung

Bei der Kläranlage von Uster (20000 Einwohner) wurden im Dauerbetrieb die Phosphate bis zu einem Restgehalt von weniger als  $2 \text{ mg/l PO}_4^{3-}$  ( $0,65 \text{ mg/l P}$ ) entfernt, gleichgültig ob Faulwasser ins Vorklärbecken rückgeführt wurde (1960) oder nicht (1966). Die zur Fällung im Eisen-Rückschlamm-Verfahren verwendete Eisen-

chloridmenge war mit durchschnittlich 5,65 mg (1960), beziehungsweise 10 mg (1966)  $\text{Fe}^{3+}$  pro Liter sehr klein. Die Kosten der Phosphatfällung beliefen sich einschliesslich der Industrieabwässer für das Jahr 1966 trotz den vielen sommerlichen Regenfällen auf nur Fr. 0,0116 (1,16 Rappen) pro  $\text{m}^3$  Abwasser. Der Eisen-Phosphat-Schlamm wirkt sich im Faulraum günstig aus; der Phosphat-Düngwert des Faulschlammes verdoppelt sich.

### 5. Literaturzitat

- BURKHALTER, H. (1966): Technische Möglichkeiten der Abwasserreinigung. Schweizer Journal, Juli, S. 28—29 und 70.
- THOMAS, E. A. (1965): Phosphat-Elimination in der Belebtschlammanlage von Männedorf und Phosphat-Fixation in See- und Klärschlamm. Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich, 110, 419—434.