

MATHEMATISCHE ANALYSE DER TECHNOLOGIE EINES BETRIEBS ZUR REINIGUNG PETROLCHEMISCHER ABWÄSSER

J. KÁLMÁN, P. SIKLÓS, I. SZEBÉNYI und D. ZORÁNYI*

Lehrstuhl für Chemische Technologie, Technische Universität, Budapest

* Chemische Kombinat Tisza, Leninváros, Ungarn

Eingegangen am 9. Februar 1980

Es wurde in der ganzen Welt vielfach versucht, die Kinetik der biologischen Abwasserreinigung mit belebtem Schlamm zu beschreiben [1, 2, 3, 4]. Heutzutage werden sowohl empirische-statistische wie auch deterministische Modelle gleichfalls verwendet. Die Zahl von solchen Arbeiten aber, die auch bei kontinuierlichen Systemen verwendet werden können, ist sehr gering, und besonders wenige Arbeiten gibt es, die sich statt der Untersuchung von Modellgemischen in Reaktoren von kleinen Dimensionen mit der eigentlichen Reinigung von industriellen Abwässern beschäftigen.

Zweck unserer Arbeit war das Studium der mathematischen Modellierung der Abwasserreinigung. Dabei untersuchten wir nicht nur die prinzipiellen Möglichkeiten der Modellbereitung, sondern wendeten das Modell auch bei einem ungarischen petrochemischen Reinigungssystem an.

In der vorliegenden Abhandlung berichten wir über die Formulierung des deterministischen mathematischen Modells der Abwasserreinigungstechnologie des Tisza Chemischen Kombinats. (Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf die Umstände vor der Inbetriebsetzung der Polypropylenfabrik und vor der Erweiterung des Systems der Abwasserreinigung im Jahre 1979.) Im Abwasserreinigungsbetrieb der Fabrik werden Abwässer der Olefinfabrik (800–1200 m³/Tag), der Farbenfabrik (800–1200 m³/Tag) und kommunale Abwässer (2000–3000 m³/Tag) gereinigt.

Aufbau des Abwasserreinigungssystems

Die industriellen Abwässer enthalten eine bedeutende Menge von organischen Substanzen teils als Emulsionen, teils als gelöste Stoffe. Die mit der Chromatmethode gemessenen chemischen Sauerstoffbedarfswerte sind die folgenden:

Kommunale Abwässer:	50 – 150 mg O ₂ /Liter
Abwässer der Farbenfabrik:	600 – 1000 mg O ₂ /Liter
Abwässer der Olefinfabrik:	900 – 1200 mg O ₂ /Liter.

Die industriellen Abwässer gelangen in den Betrieb nach Abtrennung der überstehenden organischen Stoffe, während die kommunalen Abwässer nach ihren Absetzen.

Der technologische Prozess der Abwasserreinigung wird auf *Abb. 1* dargestellt.

Die Abwässer der Olefinfabrik, die meistens alkalisch, manchmal aber neutral sind, gelangen in den Vorbelüftungsbehälter, wo sie unter intensivem Rühren und Belüftung mit Eisen(III)chlorid vermischt werden. Die leicht

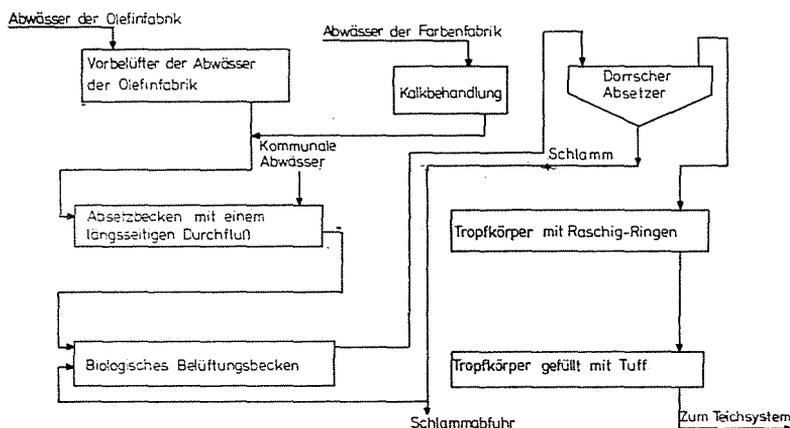


Abb. 1. Schematische Darstellung des Abwasserreinigungssystems des Chemischen Kombinats Tisza

flüchtigen Komponenten werden von der Luft mitgerissen, während ein Teil der als Emulsion und der in gelöster Form anwesenden organischen Substanzen durch den infolge der Hydrolyse des Eisen(III)chlorids gebildeten Eisen(III)hydroxidniederschlag adsorbiert werden. Ein Teil der Eisen(III) und Chlorid-Ionen nimmt in chemischen Reaktionen teil. Der pH-Wert der Lösung senkt sich infolge der Bildung von Salzsäure während der Hydrolyse unter 7.

Die Abwässer der Farbenfabrik sind schwach sauer, daher werden sie mit Calciumhydroxid behandelt. Im Rührer werden — den Abwässern der Olefinfabrik ähnlich — die organischen Emulsionen und ein Teil der gelösten Stoffe an der Oberfläche des Calciumhydroxids adsorbiert, während der übrige Teil mit den Calciumionen chemisch reagiert.

Die so mit Chemikalien vorbehandelten industriellen Abwässer gelangen in den Verteilungsraum des Absetzbeckens mit längsseitigem Durchfluß, dann in den Absetzraum des Beckens. Die hier überstehenden organischen Verunreinigungen werden mit einer Abfuhrschnecken entfernt, während der abgesetzte Niederschlag in den Schlammstammelsumpf des Beckens gelangt und von dort abgetragen wird.

Die aus dem Becken überfließenden industriellen Abwässer vereinigen sich in dem Mischschacht mit den kommunalen Abwässer, wo sie mit der Lösung der zur biologischen Oxydation benötigten Nährsalze (Kunstdünger) versetzt wird. Hieraus gelangt das Abwasser ins biologische Oxydationssystem.

Das besteht aus einem Belüftungsbecken, aus einem Dorrchen Absetzbecken und aus mit Tropfkörpern versehenen biologischen Reinigungstürmen. Die biologische Oxydation findet größtenteils im Belüftungsbecken unter Mitwirkung vom belebten Schlamm statt. Im Dorrchen Absetzbecken wird der belebte Schlamm vom Abwasser abgetrennt, sodann das überschüssige Abwasser entfernt, und der Schlamm ins Belüftungsbecken zurückgeführt.

Demnächst strömt das Abwasser durch einen der vier biologischen Reinigungstürme mit Tropfkörpern, wobei es auf Einwirkung der an der Oberfläche der Ladung des Turmes ansässigen mikroskopischen Lebewesen weiter gereinigt wird. Der chemische Sauerstoffbedarf des Abwassers beträgt hier 70–100 mg O₂/L d. h. nach dieser sogenannten zweiten Stufe der Abwasserreinigung bleiben noch organische Substanzen im Wasser. Das Abwasser fließt dann in die sogenannte dritte Stufe der Reinigung, wobei es in zwei einander parallelen Zweigen durch ein aus je drei in Reihe geschalteten Becken bestehendes Teichsystem, durch die sogenannten Algenteiche, Schilfteiche und Fischteiche durchströmt. Von dem Teichsystem gelangt das Wasser in der Fluß Tisza.

Das Abwasserreinigungssystem ist durch Notspeicher ergänzt, die zur Speicherung der industriellen Abwässer 12 Tage lang fähig sind.

Mathematische Modellierung der Elemente des Abwasserreinigungssystems

Zur Bereitung des deterministischen mathematischen Modells des Abwasserreinigungssystems ist die Kenntnis der rheologischen und reaktionskinetischen Zusammenhänge erforderlich. In Kenntnis der die Geschwindigkeit der chemischen und physikalischen Vorgänge beschreibenden Gleichungen und des rheologischen Benehmens der individuellen Objekte kann die Qualität des das System verlassenden gereinigten Wassers als Funktion des Verunreinigungsgehaltes des einströmenden Wassers errechnet werden.

Auf Grund der Ergebnisse früherer Untersuchungen stand uns das rheologische Benehmen der Elemente des Abwasserreinigungssystem zur Verfügung [5]. Die Kinetik der physikalischen und chemischen Vorgänge ist aber noch unbekannt, deshalb leiteten wir das mathematische Modell unter Annahme von gewissen chemischen Vorgängen erster und beliebiger Ordnung ab.

Vorbelüftungsbehälter

Volum des Behälters: 170 m³

Menge der eingespeisten Eisen(III)chloridlösung:

$$9 \text{ m}^3/\text{Tag}$$

Menge des eingespeisten Abwassers der Olefinfabrik:

$$1000 \text{ m}^3/\text{Tag}.$$

Auf Grund rheologischer Untersuchungen kann der Behälter als ein vollkommen gerührter Behälter betrachtet werden, der mit der Gewichtsfunktion

$$E(t) = \frac{1}{T} e^{-t/T} \quad (1)$$

gekennzeichnet werden kann, wobei

- $E(t)$ die Gewichtsfunktion,
- T die Zeitkonstante = $3,80 \pm 0,06$ h, in bezug auf den bis zum Betriebsniveau gefüllten Vorbelüftungsbehälter, und
- t die Zeit (h = Stunden) bezeichnen.

Die im Vorbelüftungsbehälter stattfindenden wichtigsten physikalischen und chemischen Vorgänge sind die folgenden:

- Hydrolyse und andere chemische Reaktionen des Eisen(III)chlorids,
- Zersetzung der Emulsion, Adsorption,
- Entfernen der flüchtigen Verunreinigungen durch Belüftung.

Es soll jetzt die Änderung der Konzentration des organischen Materials in dem den Vorbelüftungsbehälter verlassenden Wasser, falls sich der Gehalt des in den Behälter einströmenden Wassers an organischen Substanzen augenblicklich sprunghaft erhöht, untersucht werden.

Falls die im Behälter stattfindenden Reaktionen von erster Ordnung sind

beträgt die Reaktionsgeschwindigkeit

$$r = \frac{dc}{dt} = -kc(t) \quad (2)$$

Nach Integrierung:

$$c(t) = c(o) e^{-kt} \quad (3)$$

Die stationäre Stoffbilanz ist:

$$Wc_{b,v} = Wc_{k,v} + Vkc_{k,v}. \quad (4)$$

Die instationäre Stoffbilanz ist.

eintretender Stoff = austretender Stoff + umgesetzter Stoff + drinnenbleibender Stoff

$$Wc_{b,v} dt = Wc_{k,t} dt + Vr dt + Vdc_{k,t} \quad (5)$$

Nach Ordnen und Integrieren beider Gleichungen ergibt sich die Gleichung:

$$\frac{c_{k,t} - c_{k,0}}{c_{k,v} - c_{k,0}} = 1 - e^{-t \frac{W+kV}{V}} = 1 - e^{-t(k+0,25)} \quad (6)$$

die die von den im Behälter stattfindenden Reaktionen erster Ordnung verursachten Konzentrationsänderungen beschreibt.

Fall eines physikalischen und chemischen Vorgangs beliebiger Ordnung

Berechnung der Zusammensetzung des den Vorbelüftungsbehälter verlassenden Wassers in dem Fall, wenn sich die Konzentration der organischen Substanzen im eintretenden Wasser von einem Niveau momentan auf ein anderes Niveau verändert.

Kennzeichnen wir die Konzentration des untersuchten Materials mit dem ursprünglichen stationären Zustand und mit dem Maß der Abweichung von diesem Zustand:

$$c_{k,t} = c_{k,0} + c_k^* \quad (7)$$

$$c_{b,t} = c_{b,0} + c_b^* \quad (8)$$

Die Reaktionsgeschwindigkeit ist:

$$r = r_0 + r^* = f(c_k) \quad (9)$$

und

$$r = \left(\frac{dr}{dc_k} \right) c_k \quad (10)$$

Die stationäre Stoffbilanz ist:

$$Wc_{b,0} = Wc_{k,0} + Vr_0 \quad (11)$$

Die instationäre Stoffbilanz ist:

$$Wc_{b,t} = Wc_{k,t} + Vr + V \frac{dc_{k,t}}{dt} \quad (12)$$

$$W(c_{b,0} + c_b^*) = W(c_{k,0} + c_k^*) + V(r_0 + r^*) + V \frac{d(c_{k,0} + c_k^*)}{dt} \quad (13)$$

Nach der Subtraktion der stationären Stoffbilanz von Gleichung (13) und Berücksichtigung von (10), bekommen wir:

$$Wc_b^* = Wc_k^* + V \left(\frac{dr}{dc_k} \right)_0 c_k^* + V \frac{dc_k^*}{dt}. \quad (14)$$

Nach der Laplace-Transformierung von (14):

$$Wc_b(s) = Wc_k(s) + V \left(\frac{dr}{dc_k} \right)_0 c_k(s) + Vsc_k(s) \quad (15)$$

$$c_k(s) = \frac{\frac{W}{W + V \left(\frac{dr}{dc_k} \right)_0} c_b(s)}{\frac{V}{W + V \left(\frac{dr}{dc_k} \right)_0} s + 1}. \quad (16)$$

Sei jetzt

$$A = \frac{W}{W + V \left(\frac{dr}{dc_k} \right)_0} \quad (17)$$

und

$$T = \frac{V}{W + V \left(\frac{dr}{dc_k} \right)_0}. \quad (18)$$

Auf diese Weise ist

$$c_k(s) = \frac{A}{Ts + 1} c_b(s) \quad (19)$$

d. h. die Laplace-Transformierte des ausgehenden Signals ist gleich dem Produkt der Laplace-Transformierten des eingehenden Signals und der Funktion

$$\frac{A}{Ts + 1}.$$

In unserem Fall $c_b^* = \text{konstant}$.

$$c_b(s) = \frac{c_b^*}{s}. \quad (20)$$

Nach Substitution von (20) und Inverstransformation:

$$c_k^* = A c_b^* (1 - e^{-t/T}) \quad (21)$$

Mittels dieses Zusammenhanges kann jede im Vorbelüftungsreaktor auf Einwirkung eines physikalischen oder chemischen Vorganges beliebiger Ordnung stattfindende Konzentrationsänderung für jeden beliebigen Zeitmoment, im Fall einer durch Einheitsprung hervorgerufenen Störung berechnet werden.

Fall eines physikalischen und chemischen Vorgangs beliebiger Ordnung, bei beliebigem Störsignal

Nach Umordnung der Gleichung (19) ergibt sich die Übertragungsfunktion:

$$G(s) = \frac{A}{Ts + 1} \quad (22)$$

Die Übertragungsfunktion ist abgesehen von der Geschwindigkeitskonstante bekannt, nach der Bestimmung dieses Wertes ist die Laplace-Transformierte des Ausgangssignals von der Laplace-Transformierten des Eingangssignals berechenbar. Durch die Inverstransformierung der Funktion ergibt sich die den zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals beschreibende Gleichung.

Absetzbehälter mit längsseitigem Durchfluß

Volum des Behälters: 580 m³

Einspeisegeschwindigkeit des Abwassers: 2000 m³/Tag.

Ein bedeutender Teil des Beckens ist eigentlich ein toter Raum, in welchem der Materialfluß wesentlich geringer ist als anderswo. Die mathematische Form der experimentell mittels einer Isotop-Markierungstechnik [1] aufgenommenen Gewichtsfunktion und die Zeitkonstanten bestimmten wir mit einem analogen Prozessrechner vom Typ MEDA 40 TA.

Die Meßergebnisse weisen darauf hin, daß etwa eine Stunde lang nach der Störung keine oder nur eine ganz geringe, praktisch konstante Aktivität meßbar war. Demnächst aber verminderte sich durch ein verhältnismäßig scharfes Maximum die Aktivität auf einen Aktivitätswert, dessen Niveau für die Anfangsperiode kennzeichnend ist, und nahm dann weiter ab. Die Punktreihe der Meßergebnisse wurde als Totzeitperiode angenähert. Die bei der zu den Meßergebnissen gehörenden Einheitsprungsstörung erhaltene Antwortfunktion ist in *Abb. 2* dargestellt.

Die Totzeit ist von der *Abb. 2* unmittelbar ablesbar, sie beträgt $T_H = 55$ Minuten. Die Zeitkonstante eines Speichers des Abschnittes wurde mit der folgenden allgemeinen Bestimmungsmethode der Zeitkonstante bestimmt:

bei dem Maximum der Gewichtsfunktion ist der erste Differentialquotient gleich Null, d. h.

$$\frac{dy}{dt} = 0 = \frac{1}{(n-1)!} \frac{1}{T^n} \left((n-1)t^{n-2} e^{-t/T} - \frac{1}{T} e^{-t/T} \cdot t^{n-1} \right) \quad (23)$$

$$(n-1)t^{n-2} - \frac{1}{T} t^{n-1} = 0 \quad (24)$$

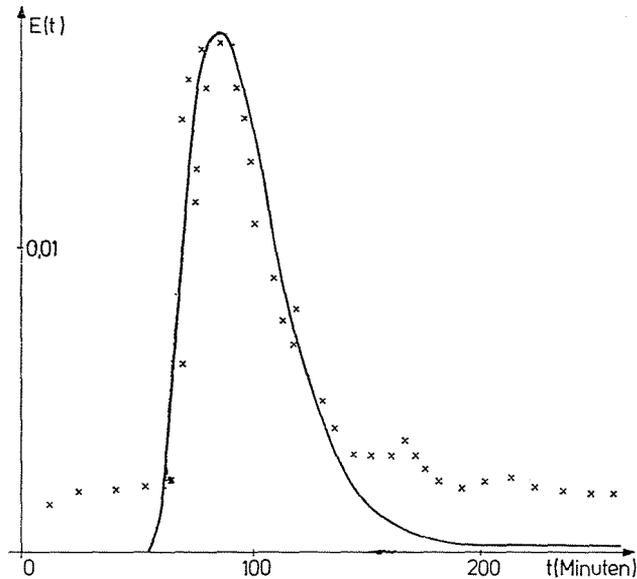


Abb. 2. Die durch Versuche aufgenommene und mittels des analogen Modells reproduzierte Gewichtsfunktion des Absetzbeckens mit einem längsseitigen Durchfluß

$$(n - 1) T = t_{\max}. \quad (25)$$

Wir haben die zum Maximum gehörende Zeit t , ($= t_{\max}$) abgelesen. Bei der Substitution von $n = 4$ in die Formel ergibt sich: $T = 11,6$ Minuten.

So ist die Übertragungsfunktion:

$$G(s) = \frac{A^* e^{-T_H s}}{(T^* s + 1)^4} \quad (26)$$

wo $T_H = 55$ Minuten, $T^* = 11,6$ Minuten sind. Die Gewichtsfunktion beträgt: $X(s) = 1$ und $A = 1$

$$E(t) = \frac{1}{(4 - 1)!} \frac{1}{T} \left(\frac{t}{T} \right)^{4-1} \cdot e^{-t/T} \quad (27)$$

und falls $t < T_H$, dann ist $E(t) = 0$.

Biologisches Belüftungsbecken

Volum: 2700 m³

Einspeisegeschwindigkeit des Abwassers: 4000 m³/Tag.

Auf Grund der Ergebnisse von Vermischungsuntersuchung entspricht das Belüftungsbecken einem Kaskadenreaktor von 1,05 Äquivalenten, d. h. es ist eine praktisch ideale Kaskade.

Seine Gewichtsfunktion ist:

$$E(t) = \frac{1}{T} e^{-t/T} \quad (28)$$

wo $T = 530$ Minuten.

Die Übertragungsfunktion eines mit einer solchen Gewichtsfunktion beschreibbaren Reaktors ist — wie wir dies schon früher erwähnten — die folgende:

$$G(s) = \frac{A}{Ts + 1}. \quad (29)$$

Dorrcher Absetzer

Volum: 1770 m³

Strömungsgeschwindigkeit des Abwassers: 4000 m³/Tag.

Die rheologische Untersuchung des Dorrchen Absetzers wurde bloß in bezug auf den Schlamm durchgeführt. Der Absetzer kann mit einer genügenden Genauigkeit mit einer Kaskade von 35 Elementen und einer durchschnittlichen Aufenthaltsdauer von $T = 225$ Minuten, d. h. mit einem dem idealen Rohrreaktor näherstehenden Modell gekennzeichnet werden. Das Vermischungsschema in bezug auf das Wasser ist völlig unbekannt, in dieser Beziehung sind wir auf Hypothesen angewiesen. Wahrscheinlich steht das Strömungsschema des Abwassers dem Modell des idealen Rohrreaktors näher.

Mit Tropfkörpern gefüllte Wasserreiniger

Die Meßergebnisse wurden auf die oben geschilderte Weise mittels eines analogen Prozessrechners durch zwei Speicherelemente mit Totzeit angenähert. Die Bestimmung der Totzeit und der Zeitkonstanten erfolgte gleichfalls auf die oben beschriebene Weise.

Auf diesem Grund ist die Gewichtsfunktion des mit *Raschig-Ringen* gefüllten Turmes:

$$E(t) = \frac{1}{6!} \frac{1}{T} \left(\frac{t}{T} \right)^6 e^{-t/T} \quad (30)$$

während seine Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{Ae^{-sT_H}}{(Ts + 1)^7} = \frac{Y}{X} \quad (31)$$

ist, wo $T_H = 0,06$ Minuten und

$T = 0,097$ Minuten sind.

Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer beträgt 2,64 Minuten.

Die Gewichtsfunktion des mit Tuff gefüllten Turmes beträgt:

$$E(t) = \frac{1}{6!} \frac{1}{T} \left(\frac{t}{T} \right)^6 e^{-t/T} \quad (32)$$

seine Übertragungsfunktion:

$$G(s) = \frac{Ae^{-sT_H}}{(Ts + 1)^7} \quad (33)$$

wo $T = 0,39$ Minuten, $T_H = 1,78$ Minuten, und die durchschnittliche Aufenthaltsdauer 5,57 Minuten betragen.

Bewertung

Bei der Entwicklung der mathematischen Modellen sind wir davon ausgegangen, daß die Geschwindigkeit der Reaktionen der untersuchten Materialien auch von der Konzentration der untersuchten Verbindungen und anderen Materialien abhängig ist. Dieser allgemeinste Fall wurde von uns auf solche Weise begrenzt, daß wir immer angenommen haben, daß der funktionelle Zusammenhang zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Konzentration im Konzentrationsbereich der Störung mit der in dem Zustand vor der Störung genommen Tangente der Kurve ersetzbar ist.

Das mathematische Modell des Abwasserreinigungssystems ist auf *Abb. 3* dargestellt. *Abb. 3* gibt auch die Gewichtsfunktionen und Übertragungsfunktionen der einzelnen Objekte an.

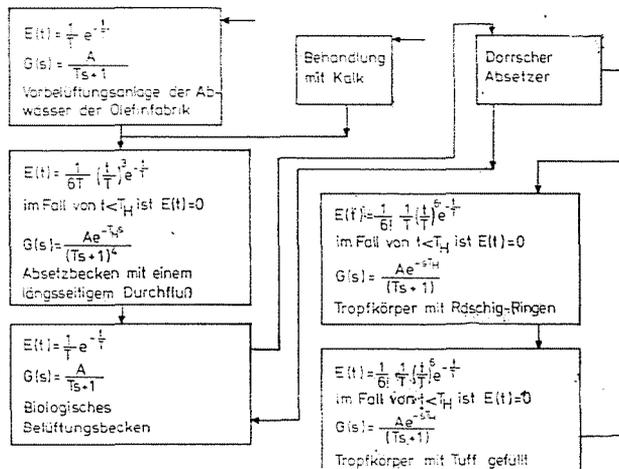


Abb. 3. Mathematische Modell des Abwasserreinigungssystems des Chemischen Kombinats Tisza

Zur Anwendung dieses mathematischen Modells d. h. zur Berechnung der Zusammensetzung des die einzelnen Elemente bzw. das ganze System verlassenden Wassers in Kenntnis der Zusammensetzung des in das Abwasserreinigungssystem eintretenden Wassers ist es außerdem erforderlich, einige rheologische und physikalisch-chemische Fragen zu lösen. Die rheologische Bedingung der Anwendung des Modells ist, daß die Strömung des Abwassers kontinuierlich und ihre Geschwindigkeit bekannt sei. (Dies ist übrigens auch eine wichtige Bedingung der wirksamen Operation des Systems.) Wir können annehmen, daß das Strömungsschema des Vorbelüftungsbehälters der Farbenfabrik dem des Vorbelüftungsbehälters der Olefinfabrik gleich ist, während das rheologische Schema des Dorrnschen Absetzers eine weitere Analyse erfordert.

Die Sicherung der physikalisch-chemischen Aufgaben ist schon wesentlich schwerer. Für jedes Element der Abwasserreinigung müssen die quantitativen Zusammenhänge des zeitlichen Verlaufes der Hauptvorgänge bekannt sein. Diese Zusammenhänge müssen auch die Zusammenhänge mit den Konzentrationen, zustandbestimmenden und anderen Umweltfaktoren enthalten.

Die Zusammensetzung des zu reinigenden Abwassers kann binnen sehr weiten Grenzen schwanken, und eine vollkommene chemische Analyse der Abwässer ist praktisch nicht durchführbar. Daher scheint es zweckmäßig, das mathematische Modell zuerst an die Totalität — an den chemischen Sauerstoffbedarf oder an den Gesamtgehalt an organischen Substanzen — anzuwenden, und nur demnächst an gewissen Verbindungstypen bzw. an wichtigeren Verbindungen.

Bei der Beschreibung des Systems soll man dahin streben, zuerst die Reaktoren, und demnächst alle Objekte individuell und nur zuletzt das Abwasserreinigungssystem als eine einheitliche Totalität zu beschreiben.

Zusammenfassung

Das mathematische Modell eines Abwasserreinigungsbetriebs wird beschrieben, der petrochemische Abwässer (einer Olefinfabrik, einer Farbenfabrik) und kommunale Abwässer reinigt. Zur Bereitung des angewandten deterministischen Modells wurden rheologische und reaktionskinetische Zusammenhänge verwendet. Das rheologische Benehmen der Elemente des Abwasserreinigungssystems — des Vorbelüfterbehälters (Vorbehandlung mit Chemikalien), des Absetzers, des biologischen Oxydationsbeckens, des mit Raschigringen gefüllten und des mit Tuff gefüllten Tropfkörperturmes — wurde durch die Substitution von auf Grund von Versuchen aufgenommenen Gewichtsfunktionen mit aus mehreren Speichern bestehenden Abschnitten mit Totzeiten gekennzeichnet. Es wurde dabei angenommen, daß die die Geschwindigkeit der in den einzelnen Objekten stattfindenden Vorgänge von erster und von beliebiger Ordnung sind, und das Modell wurde unter Berücksichtigung dieser Annahme bereitet.

Zeichenerklärung

- s — Laplace-Operator
- r — Reaktionsgeschwindigkeit
- c — Konzentration des untersuchten Materials im Wasser

- k — Geschwindigkeitskonstante des untersuchten Vorganges
 t — momentane Zeit
 W — Volumströmung (m^3h^{-2})
 V — Reaktorvolum (m^3)
 $G(s)$ — Übertragungsfunktion
 $E(t)$ — Gewichtsfunktion
 T — Zeitkonstante
 A — Verstärkungsfaktor
 b (als Index rechts unten) — Eingangskoeffizient
 k (als Index rechts unten) — Ausgangskoeffizient
 v (als Index rechts unten) — Schlußkoeffizient
 $*$ (als Index rechts oben) — Abweichung von dem stationären Zustand

Literatur

1. BENEDEK, P.—LITERÁTHY, P.: Vízminőség-szabályozás a környezetvédelemben (Regulierung der Wasserqualität in dem Umweltschutz). Műszaki Könyvkiadó, Budapest. 1979 (auf ungarisch)
2. KRÖTZSCH, P.—KÜRTEŃ, H.—DAUCHER, H.—POPP, H. K.: Ger. Chem. Eng. **1**, 15—19 (1977)
3. HARBOLD, H. S.: Chem. Eng. **83**, 157—160 (1976)
4. KONO, T.—ASAI, T.: Biotechn. Bioeng. **11**, 293 (1969)
5. Magyar Tudományos Akadémia Izotóp Intézete (Isotopinstitut der Ungarischen Akademie der Wissenschaften): Áramlási vizsgálatok a TVK szennyvíztisztító rendszerében. Kutatási jelentés (Rheologische Untersuchungen des Abwasserreinigungssystems des Tisza Chemischen Kombinats). Budapest. 1976 (auf ungarisch).

dr. János KÁLMÁN

dr. Pál SIKLÓS

Prof. dr. Imre SZEBÉNYI

Dezső ZORÁNYI

H-1521 Budapest

Chemische Kombinat Tisza, Leninváros, Ungarn