

Abb. 4. Vergleich des in den Schütttschichten gemessenen Verweilzeitverhaltens mit Literaturdaten. Die Pecllet-Zahlen wurden mit Hilfe der Beziehung [7]  $\sigma_t^2/\bar{t}^2 = 2(Bo)^{-1} - 2(Bo)^{-2}(1 - \exp(-Bo))$  berechnet, wobei  $Bo = Pe L/d_p$ .

Die vergleichenden Messungen der Verweilzeitverteilung von Ethanol in Packungen aus Schaumkeramik und Schütttschichten aus Glaskugeln haben gezeigt, daß die Schaumkeramik-Packungen gegenüber den Schütttschichten bei gleicher axialer Durchmischung einen wesentlich kleineren Druckabfall aufweisen. Diese Eigenschaft wird insbesondere für ihre Anwendung als Katalysatorträger von Interesse sein. Entsprechende Messungen in der Gasphase werden gegenwärtig durchgeführt.

Eingegangen am 26. September 1988 [K1037]

### Formelzeichen

$c_e(t), c_a(t)$  [mol/m<sup>3</sup>] Eingangsbzw. Ausgangssignal der Meßstrecke

Bo	[-]	Bodenstein-Zahl ( $Bo = u L/D_a$ )
D	[m]	Packungsdurchmesser
$D_a$	[m <sup>2</sup> /s]	axialer Dispersionskoeffizient
$d_p$	[m]	Partikeldurchmesser
$f(t)$	[s <sup>-1</sup> ]	Verweilzeitdichtefunktion
$f(\theta)$	[-]	normierte Verweilzeitdichtefunktion
n	[-]	Kesselzahl
Pe	[-]	Pecllet-Zahl ( $Pe = u d_p/D_a$ )
Re	[-]	Reynolds-Zahl, auf den leeren Packungsquerschnitt bezogen ( $Re = D u_o/v$ )
$Re_p$	[-]	Reynolds-Zahl, auf Partikeldurchmesser bezogen ( $Re_p = d_p u/v$ )
t	[s]	Zeit
$\bar{t}$	[s]	mittlere Verweilzeit
$u_o$	[m/s]	Strömungsgeschwindigkeit, auf den leeren Packungsquerschnitt bezogen
u	[m/s]	Strömungsgeschwindigkeit
$\theta$	[-]	normierte Zeit ( $t/\bar{t}$ )
v	[m <sup>2</sup> /s]	kinematische Viskosität
$\sigma_t^2$	[-]	Varianz von $f(t)$

### Literatur

- [1] Giger, G. K.; Habegger, E.; Richarz, W.: *Chimia* 32 (1978) S. 334/339.
- [2] Levenspiel, O.; Turner, J. C. R.: *Chem. Eng. Sci.* 25 (1970) S. 1605/1609.
- [3] Cairns, E. J.; Prausnitz, J. M.: *Chem. Eng. Sci.* 51 (1959) S. 1441/1444.
- [4] Levenspiel, O.: *Chemical Reaction Engineering*, Wiley & Sons, New York 1972.
- [5] Wen, C. Y.; Fan, L. T.: *Models for Flow Systems and Chemical Reactions*, M. Dekker, New York 1975, S. 166.
- [6] Ebach, E. A.; White, R. R.: *AIChE J.* 4 (1958) S. 161/169.
- [7] Levenspiel, O.; Smith, W. K.: *Chem. Eng. Sci.* 6 (1957) S. 227/233.

## Entwicklung und praktische Umsetzung eines Biogas-Hochleistungsverfahrens zur Reinigung organisch stark belasteter Abwässer\*

Alexander Aivasidis und Christian Wandrey\*\*

Mit der Entwicklung der Produktionstechnik fallen örtlich konzentriert häufig organisch hochbelastete Abwässer an. Dieser Sachverhalt muß bei der Entsorgungstechnik besonders berücksichtigt werden. Die konventionelle aerobe Abwasserbehandlung (Belebtschlammverfahren) wird jedoch um so problematischer, je höher die organische Schmutzfracht ist, da der erforderliche Sauerstoff-Eintrag schnell an technische und vor allem wirtschaftliche Grenzen stößt. Ziel der hier beschriebenen Verfahrensentwicklung war es daher, gerade für organisch hochbelastete Abwässer einen ausgereiften Lösungsansatz bereitzustellen.

Hier wird eine Problemlösung nicht durch eine immer intensivere Begasungstechnik, sondern nach einem Konzept angestrebt, welches in der Natur bereits verwirklicht ist: Biogas entsteht überall dort, wo

organisches Material unter Sauerstoff-Ausschluß (anaerob) mikrobiell zersetzt wird. Die Vorteile der anaeroben Betriebsweise liegen im einzelnen darin, daß

- auf den energieintensiven Sauerstoff-Eintrag verzichtet werden kann,
- statt dessen Biogas entsteht, dessen Energie-Inhalt genutzt werden kann,
- sehr wenig Überschussschlamm entsteht, wobei gleichzeitig die organische Belastung bis zu 95 % in Biogas überführt wird,
- es statt einer oxidativen Mobilisierung von Schwermetallen zu einer reduktiven Deponierung als Schwermetall-Sulfide kommt, so daß eine geordnete Deponierung statt einer weiträumigen Verteilung möglich wird,
- Aerosol-Bildung durch Sauerstoff-Eintrag und ein Ausstreifen von leicht flüchtigen Komponenten vermieden wird,
- Raum-Zeit-Ausbeuten möglich werden, die beim Belebtschlammverfahren aufgrund der vorliegenden Stofftransport-Limitierung prinzipiell nicht erreichbar sind.

### 1 Methodik der Verfahrensentwicklung

Ein zentrales Problem auch in der anaeroben Abwasserreinigung ist die Erzielung möglichst hoher Raum-Zeit-Ausbeuten. Diese Forderung kann um so leichter erfüllt werden, je höher die Aktivität sowie die Konzentration der am biologischen Abbau beteiligten Mikroorganismen ist. Neben einer Reihe von Faktoren, wie pH-Wert, Temperatur, Feststoffkonzentration, Diffusionslimitierung, Medienzusammensetzung, Komplexität der mikrobiellen Population etc., hängt die

\* Vortrag von A. Aivasidis auf dem Jahrestreffen der Verfahrensingenieure, 21. bis 23. Sept. 1988 in Hannover.

\*\* Dr. A. Aivasidis und Prof. Dr. C. Wandrey, Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Institut für Biotechnologie 2, 5170 Jülich.

mikrobielle Aktivität ganz entscheidend von der Art der Selektionierung und Adaptation der Population ab. Bei dieser sog. Voradaptation wird eine leistungsfähige mikrobielle Population in Anlehnung an das Konzept zur Selektionsstress-Optimierung durch Maximierung der Raum-Zeit-Ausbeute erhalten (Abb. 1). Grundgedanke dieses Selektionskonzeptes ist, daß eine optimal zusammengesetzte mikrobielle Mischpopulation mit maximaler biospezifischer Aktivität in der kürzest möglichen Zeit erhalten werden kann, wenn ein kontinuierlich betriebener Rührkesselreaktor (Chemostat) bei einer sukzessiv verkürzten Verweilzeit betrieben wird. Durch einen gezielten Auswaschvorgang bleiben nur noch die absolut notwendigen und leistungsfähigen Bestandteile der Population übrig (vgl. dazu Abb. 1, unten).

Für hohe Bioreaktor-Leistungen kommt es neben der Biomasse-Aktivität auch auf die Biomasse-Konzentration an. Aufgrund der langen Generationszeiten anaerober Mikroorganismen kann es dann zu einer signifikanten Verkürzung der Verweilzeit im Bioreaktor kommen, wenn gleichzeitig Maßnahmen für eine „Biomasse-Rückhaltung“ oder -Rückführung“ getroffen werden. Das grundsätzliche physikalische Prinzip hierbei ist die Erhöhung der Teilchengröße und des Dichteunterschiedes des Biokatalysators gegenüber der Flüssigkeit. Beide Aspekte werden bei der Immobilisierung von Mikroorganismen durch dreidimensionale Kolonisierung makroporöser Trägermaterialien in optimaler Weise berücksichtigt.

Für das Konzept der Kolonisierung steht zunächst ein natürlich vorkommendes makroporöses Trägermaterial (Lavaschlacke aus der Ei-

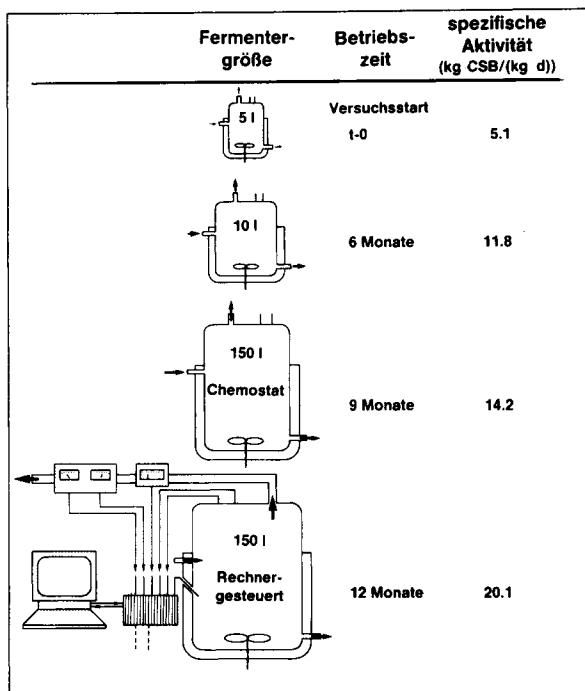
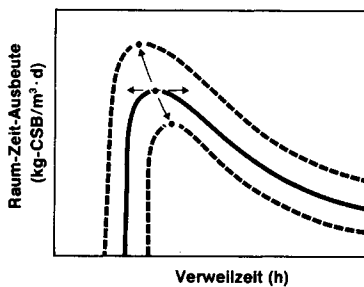


Abb. 1. Konzept zur Optimierung des Selektionsstresses durch Maximierung der Raum-Zeit-Ausbeute (oben) und Verlauf der spezifischen Biomasse-Aktivität bei manueller sowie rechnergesteuerter Verweilzeitverkürzung (unten).

fel) zur Verfügung. Während in diesem Fall eine sehr breite Makroporen-Größenverteilung vorkommt, kann alternativ ein technisches Material, das Siran (Sinterglas der Schott Glaswerke, Mainz) mit einstellbaren Werkstoffeigenschaften eingesetzt werden.

Für das Bioreaktor-Konzept muß zunächst die Akkumulation einer hohen Biokatalysator-Konzentration im Reaktor angestrebt werden. Bei dem von uns entwickelten Biogas-Hochleistungsverfahren wird ein Festbett-Umlaufreaktor [1-5] benutzt, wodurch die Vorteile von Festbett- und Wirbelschichtreaktoren, unter Vermeidung einer Reihe von Nachteilen, die typisch für das eine oder andere Konzept sind, kombiniert werden (vgl. Abb. 2).

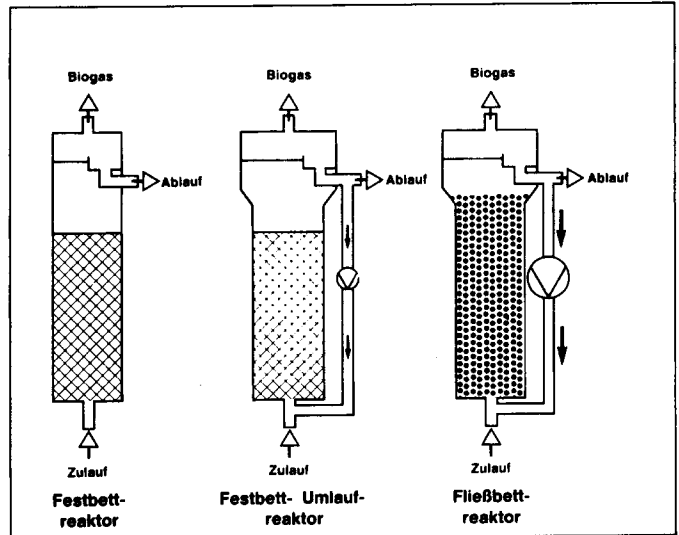


Abb. 2. Gegenüberstellung der Fließschemata von Festbett-, Fließbett- und Festbett-Umlaufreaktor.

Wegen der geringen Vermehrungsgeschwindigkeit anaerober Mikroorganismen kommt dem zeitoptimalen Anfahrvorgang von Biogasreaktoren einerseits und der Vermeidung einer Schädigung einer einmal angezogenen Biomasse andererseits große Bedeutung zu. Beide Ziele lassen sich mit Hilfe einer modernen rechnergekoppelten Regelungstechnik leichter erreichen.

Der beschriebene Versuchsaufbau (einstufig) kommt zunächst für solche Abwasserinhaltsstoffe in Frage, die direkt zu Biogas umgesetzt werden können. Wenn dagegen Abwasserbestandteile vorliegen, die einer Versäuerung bedürfen (zum Beispiel Kohlenhydrate, Proteine oder Fette), muß dem stufenweisen mikrobiellen Abbau dann mit einer entsprechenden Reaktorkonfiguration Rechnung getragen werden. Dabei kommt eine zweistufige Betriebsweise zum Einsatz, bei der in der ersten Stufe vornehmlich säurebildende Mikroorganismen und in der zweiten Stufe hauptsächlich methanogene Mikroorganismen wirken.

## 2 Experimentelle Ergebnisse und praktische Umsetzung

Im Laufe der Verfahrensentwicklung wurden umfangreiche Untersuchungen zur Optimierung der Werkstoffeigenschaften des technischen porösen Trägermaterials (Sinterglas) durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß auch gemahlene Abfallgläser definierter Korngröße eingesetzt werden können. Es ergab sich eine optimale Porosität von 60% und eine optimale Porengrößenverteilung von 60 bis 300 µm. Durch diese Werkstoffoptimierung konnte die Raum-Zeit-Ausbeute gegenüber den Ausgangsmaterialien mehr als verdoppelt werden. Am Beispiel der anaeroben Reinigung von sog. Brüdenkondensaten aus der Eindampfung der Sulfid-Ablauge in der Zellstoff-Industrie wurden im Labor folgende Ergebnisse erreicht: Raum-Zeit-Ausbeute 160 kg CSB/m<sup>3</sup> d, spezifische Biogasbildung 104 kg CSB/m<sup>3</sup> d,

Verweilzeit 5,5 h, CSB-Umsatz 80 % und Raumbelastung 200 kg CSB/m<sup>3</sup> d. Dabei handelt es sich um ein Brüdenkondensat mit einem CSB-Gehalt von 45,8 kg/m<sup>3</sup>.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden Versuche zur Maßstabsvergrößerung durchgeführt. In Bioreaktoren mit 11 l und 1000 l Gesamtvolumen wurden Versuche im Institut für Biotechnologie der KFA Jülich und im Maßstab 3 350 l in Zusammenarbeit und unter Regie des Lizenznehmers Siemens, Unternehmensbereich Kraftwerk Union, Offenbach, bei der Zellstoff-Industrie vorgenommen. Als Trägermaterial diente im letzteren Fall Lavaschlacke. Auch am Beispiel der anaeroben Reinigung von Brauereiabwässern wurde eine Maßstabsvergrößerung durchgeführt. Der Abbau wurde im Maßstab 11 l in Jülich und im Maßstab 1000 l in Zusammenarbeit und unter Regie des Lizenznehmers Schott Glaswerke, Mainz, mit Siran als Trägermaterial bei einer Brauerei durchgeführt. In allen Fällen zeigte sich, daß die Raum-Zeit-Ausbeute bei der Vergrößerung des Maßstabes leicht verbessert werden kann.

Am Beispiel des anaeroben Abbaus von Brennereschlempen wurden die Grenzen der einstufigen Betriebsweise in Laborexperimenten demonstriert. Aufgrund der unbefriedigenden Ergebnisse wurde eine zweistufige Reaktorkombination verwendet. Bezüglich einer Maßstabsvergrößerung wurde in diesem Fall auf eine Zwischenstufe von 1000 bis 3 000 l verzichtet. Stattdessen wurde vom Kooperationspartner Schott Glaswerke eine Pilot-Anlage zur zweistufigen anaeroben Reinigung von Brennereschlempen im Maßstab 20 000 l erstellt und in Betrieb genommen.

### 3 Praktische Umsetzung

Im Herbst 1986 erhielt unser Kooperationspartner Siemens, Unternehmensbereich Kraftwerk Union, von der Wendland-Stärke KG, Lüchow, einen Auftrag zur anaeroben Reinigung von Abwässern einer noch in Lüchow zu errichtenden Kartoffelstärkefabrik [6, 7]. Folgende Randbedingungen waren dabei zu berücksichtigen: Kampagne-Betrieb, kurzfristige Auftragserteilung (ca. 1 Jahr bis zur Inbetriebnahme), simultante Inbetriebnahme der Kartoffelstärkefabrik und Verfügbarkeit des Abwassers erstmals bei Produktionsbeginn, kurze Inbetriebnahmezeit (45 d), ungenügende Spezifikation des zu erwartenden Abwassers und Anlagenauslegung ohne experimentelle Grundlagen.

Da die Kartoffelstärkefabrik noch nicht existierte, wurden als Auslegunggrundlage Literaturdaten aus dem Betrieb laufender Kartoffelstärkeanlagen hinsichtlich der Abwasserzusammensetzung sowie Herstellerangaben über Abwassermengen und CSB-Schmutzfrachten herangezogen. Da ein Anteil der CSB-Belastung aus dem Eiweiß sowie den Kohlenhydraten resultiert, also Inhaltsstoffen, die vor der Methanisierung hydrolysiert werden müssen, wurde ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Prozeß- und Fruchtwasserströme werden in der Eingangsstufe der Anaerobanlage gemischt und gelangen als Gesamtstrom von ca. 86 m<sup>3</sup>/h mit 17 kg/m<sup>3</sup> CSB-Belastung und einer Temperatur von 37 °C in die Vorversäuerung, die als Rührkessel ausgelegt ist. Das vorversäuerte Abwasser strömt dann nach Abtrennung der Biomasse über einen Abscheider in die Methanisierung. Diese besteht aus vier parallel betriebenen, biologisch identischen Festbett-Umlaufreaktoren, die mit Lavaschlacke gefüllt sind.

Bei einer Verweilzeit von 12 h in der Vorversäuerung ergibt sich ein Rührkesselvolumen von 1000 m<sup>3</sup>. Für die Methanisierung wurde eine Verweilzeit von 14 h zugrunde gelegt, woraus ein Reaktorvolumen von 1200 m<sup>3</sup> (4 × 300 m<sup>3</sup>) und eine CSB-Raumbelastung von 26 kg/(m<sup>3</sup> d) resultiert.

Da die geschilderte Anlagenauslegung ohne entsprechende experimentelle Grundlagen vorgenommen wurde, mußte sie im nachhinein während der Projektierungs- und Bauphase der anaeroben Reinigungsanlage in Labor- und Pilotexperimenten verifiziert werden. Die Versuche wurden schwerpunktmäßig in zweistufigen Anlagen sowohl in Jülich als auch beim Kooperationspartner Siemens, Unternehmensbereich KWU, in Karlstein durchgeführt. Die Reaktorgröße

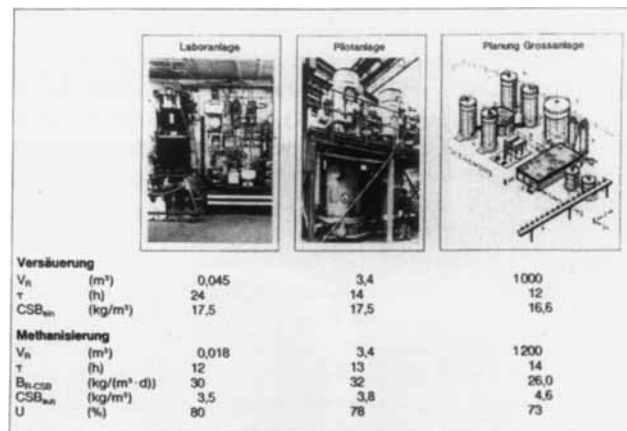


Abb. 3. Gegenüberstellung von Ergebnissen aus Labor- sowie Pilot-Experimenten zur anaeroben Reinigung von Kartoffelstärke-Abwasser und Auslegungsdaten der Großanlage bei der Wendland-Stärke KG, Lüchow.

überdeckte dabei einen Bereich von 5 bis 3 400 l. Die wesentlichen Ergebnisse sind in Abb. 3 den Auslegungsdaten für die Großanlage gegenübergestellt. Daraus wird deutlich, daß unter Einhaltung der zugrunde gelegten Erwartungswerte für die Anlagenauslegung die Ablaufspezifikation durchaus eingehalten werden kann. Die Animpfbiomasse wurde sowohl mit einem künstlichen als auch mit einem realen Abwasser in einer 50-m<sup>3</sup>-Anzuchtanlage vermehrt und in Teilmengen in die nacheinander fertiggestellten und mit Lavaschlacke gefüllten Festbett-Umlaufreaktoren überführt. Dort wurde die Biomasse weiter angezüchtet.

Der Anfahrvorgang der Versäuerungsstufe fand aufgrund der kürzeren Verdoppelungszeiten säurebildender Bakterien schon vor der eigentlichen Inbetriebnahme statt. Bereits einen Tag nach der Einspeisung des Stärkeabwassers lieferte die Analyse das typische Fettsäurespektrum. Die Ablaufwerte der Methan-Stufe blieben weit unter den geforderten Grenzwerten, obwohl mit zunehmender Betriebsdauer und auch steigender Belastung die Lamellenabscheider durch das überhöhte Feststoffangebot im Abwasser überfordert waren und damit ihr Abscheidegrad zurückging.

Bei Erreichen des Vollastbetriebes zeichnete sich ab, daß die hydraulische Belastung der Anlage um bis zu 20 % und die CSB-Raumbelastung um bis zu 73 % gegenüber den für die Anlagenauslegung zugrunde gelegten Erwartungswerten zunahm. Hinzu kamen massive Stöße durch nicht koagulierendes Protein und nicht abgetrennte Stärke. Unter diesen extremen Bedingungen war es dann auch nicht immer möglich, die geforderten Ablaufwerte zu erzielen. Zwar lag der CSB-Wert von feststofffreien Ablaufproben in der Größenordnung des Garantiewertes, jedoch wurden in den homogenisierten Proben CSB-Werte von 5,6 bis 7,5 kg/m<sup>3</sup> gemessen. Bezogen allerdings auf die CSB-Zulaufkonzentration von 22,4 bis 24,7 kg/m<sup>3</sup> entspricht dies immer noch einem Abbaugrad von 70 bis 77 %. Weiter ist anzumerken, daß trotz einer permanenten Anlagenüberlastung von ca. 25 % die auslegungsgemäße Reinigungsleistung erhalten blieb.

### 4 Ausblick

Die praktische Anwendbarkeit der im Labor erzielten Ergebnisse dürfte aufgrund der verwendeten praktischen Abwässer durch die Bestätigung der Laborergebnisse im Pilot-Maßstab und großtechnischem Maßstab bei Abwässern aus verschiedenen Industriebereichen hinreichend nachgewiesen sein. Das Gesamtprojekt der Wendland-Stärkefabrik hat den Beweis erbracht, daß eine anaerobe Hochlastanlage in betriebswirtschaftlich vernünftigen Zeiträumen zeitgleich mit einer Produktionsanlage angefahren werden kann. Für die Biologie der Reaktoren, vor allem der Methanisierungsstufe, ist wesentlich,

daß sowohl eine in genügender Menge voradaptierte Biomasse angezüchtet wird als auch eine Detailstrategie bezüglich der während der Inbetriebnahme zeitabhängigen Belastungssteigerung existiert.

Eingegangen am 24. November 1988 [K1062]

## Literatur

[1] *Aivasidis, A.; Wandrey, C.*: Patentanmeldung, Kernforschungsanlage Jülich, P 32 47 117.3, vom 21. 12. 1982.

- [2] *Aivasidis, A.; Wandrey, C.*: *Wiss. Umwelt* 4 (1983) S. 181/187.  
[3] *Aivasidis, A.; Wandrey, C.*: Poster-Präsentation bei der Tagung „Verfahrenstechnik bei biologischer Abwasserreinigung“, Krefeld 1983, Preprints S. 290.  
[4] *Aivasidis, A.; Wandrey, C.*: Bericht der KFA Jülich GmbH, Nr. 1900, 1984.  
[5] *Aivasidis, A.*: Proc. of IAWPRC Symp. on Forest Industry Waste Waters, Tampere/Finnland 1984.  
[6] *Koepf-Bank, P.-J.; Geller, A.*: GIT-Supplement 1/1987, Umwelt.  
[7] *Schraewer, R.*: *Abwassertechnik* (1988) Nr. 5, S. 40/43.

## Neuerscheinungen

Die im folgenden angezeigten Bücher sind der Redaktion zugesandt worden. Nur für einen Teil dieser Werke können Rezensionen erscheinen, da die Seitenzahl, die für den Abdruck von Buchbesprechungen zur Verfügung steht, begrenzt ist.

**Thermo Prozess- und Abfalltechnik.** Herausgeg. von *H. P. Niepenberg* und *J. Stepanek*. Vulkan-Verlag, Essen 1989. XIV, 450 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., DM 186,-. – ISBN 3-8027-2144-6.

**Iscre 10, Tenth International Symposium on Chemical Reaction Engineering.** Herausgeg. von *J. R. Bourne, W. Regenass* und *W. Richarz*. Pergamon Press, Oxford 1988. XII, S. 1725 bis 2325, zahlr. Abb. u. Tab., geb., £ 40,-. – ISBN 0-08-036969-3.

**Research in Thermochemical Biomass Conversion.** Herausgeg. von *A. V. Bridgwater* und *J. L. Kuester*. Elsevier Applied Science Publisher, London – New York 1989. XIV, 1193 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., £ 99,-. – ISBN 1-85166-310-X.

**Atomization and Sprays.** Von *A. H. Lefebvre*. Hemisphere Publishing Corp., New York – London 1989. XI, 421 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., £ 65,-. – ISBN 0-89116-603-3.

**Corrosion and Corrosion Protection Handbook.** Herausgeg. von *P. A. Schweitzer*. Marcel Dekker, Inc., New York – Basel 1989. 2. Aufl., XVII, 680 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., US-\$ 150,-. – ISBN 0-8247-7998-3.

**Environmental Management Handbook. Toxic Chemical Materials and Wastes.** Von *L. C. Kokoszka* und *J. W. Flood*. Marcel Dekker, Inc., New York – Basel 1989. XVI, 656 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., US-\$ 150,-. – ISBN 0-8247-8012-4.

**Reference Manual of Countermeasures for Hazardous Substance Releases.** Von *W. Unterberg* et al. Hemisphere Publishing Corp., New York – London 1989. IX, 257 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., £ 28,-. – ISBN 0-89116-066-3.

**Spurwechsel. Unternehmer und Professor überholen Konkurrenten.** Von *P. Eyerer*. Rudolf Haufe Verlag, Freiburg i. Br. 1989, 278 S., Ln., DM 48,-. – ISBN 3-448-01942-9.

**Transition Metal Catalyzed Polymerizations.** Herausgeg. von *R. P. Quirk*. Cambridge University Press, Cambridge – New York 1989. 868 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., £ 45,-. – ISBN 0-521-33289-3.

**Praktische Lohnabrechnung 1989.** Von *F. Wisse* und *M. Maurer*. Dr. F. Weiss Verlag GmbH, München 1989. 224 S., geb., DM 48,-. – ISBN 3-923362-27-7.

**Shock Waves for Industrial Applications.** Herausgeg. von *L. E. Murr*. Noyes Publications, Park Ridge 1989. XIV, 533 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., US-\$ 78,-. – ISBN 0-8155-1170-1.

**Gefahrstoffe.** Von *M. Nöthlich* u. a. Erich Schmidt Verlag, Berlin – Bielefeld – München 1989. Einschl. 19./20. Ergänzungslieferg. 1452 S., einschl. Ordner, DM 96,-.

**Multiphase Science and Technology, Vol. 4.** Von *G. F. Hewitt* et al. Hemisphere Publishing Corporation, New York – Washington – London 1989. XIV, 803 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., £ 67,-. – ISBN 0-89116-649-1.

**Capital Cost Estimating for the Process Industries.** Von *O. P. Kharbanda* und *E. A. Stallworthy*. Butterworths, London – Boston – Singapur 1988. 304 S., 41 Diagr., geb., £ 40,-. ISBN 0 408 02660 X.

**Personal Computers in Industrial Control.** Herausgeg. von *B. Giorgi*. Butterworths, London – Boston – Singapur 1988. 180 S., zahlr. Abb., geb., £ 25,-. – ISBN 0 408 03297 9.

**Taschenbuch Betriebliche Sicherheitstechnik.** Von *R. Skiba*. Erich Schmidt Verlag, Berlin – Bielefeld – München 1989. 2. Neubearb. u. erweit. Aufl., 412 S., geb., DM 48,-. – ISBN 3 503 02082 9.

**Umweltforschungskatalog 1988, 7. Ausgabe.** Herausgeg. vom Umweltbundesamt. Erich Schmidt Verlag, Berlin – Bielefeld – München 1988, XIII, 1829 S., kart., DM 89,-. – ISBN 3 503 02775 0.

**Physik von Biomembranen.** Von *E. Sackmann*. **Zur Photophysik und Photochemie von Phytochrom.** Von *K. Schaffner*. Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften, Vorträge Reihe N, Bd. 362. Westdeutscher Verlag, Opladen 1988. 84 S., 38 Abb., kart., DM 24,-. – ISBN 3-531-08362-7.

**Vapor-Liquid Equilibrium Data.** Physical Sciences Data, 37. Von *S. Ohe*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam – New York 1989. XXX, 742 S., US-\$ 260.50. – ISBN 0-444-98876-9.

**Surfactant-Based Separation Processes.** Surfactant Science Series, Vol. 33. Herausgeg. von *J. F. Scamehorn* und *J. H. Harwell*. Marcel Dekker, Inc., New York – Basel 1989. X, 360 S., zahlr. Abb. u. Tab., geb., \$ 138,-. – ISBN 0-8247-7829-0.

**AQS – Analytische Qualitätssicherung.** Herausgeg. von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Erich Schmidt Verlag, Berlin – Bielefeld – München 1989. 39 S., kart., DM 14,80. – ISBN 3-503-02795-5.