

Neuere Untersuchungsmethoden in der Abwassertechnik

W. BISCHOFBERGER

1. Einführung

Mit der Zielsetzung eines verbesserten und jederzeit gesicherten Gewässerschutzes ist untrennbar die Forderung nach leistungsfähigen und betriebssicheren Anlagen und Verfahren zur Ableitung und Reinigung der anfallenden Abwässer verbunden. Um dieser Forderung gerecht zu werden, ist einerseits eine ständige Weiterentwicklung der anzuwendenden Verfahren und andererseits eine ständige Überwachung des Betriebes erforderlich, um optimale Wirkungsgrade zu erzielen. Schließlich bedarf es einer sorgfältigen Überwachung der Ablaufqualität des aus den Kläranlagen abfließenden gereinigten Abwassers, um den erforderlichen Schutz der Gewässer zu gewährleisten. Auch die monetären Auswirkungen des Abwasserabgabengesetzes erfordern in der Bundesrepublik Deutschland eine ständige Leistungskontrolle und sorgfältige Überwachung der Ablaufqualität von Kläranlagen.

Sich ständig verändernde Umweltbedingungen erfordern eine hohe Anpassungsfähigkeit sowie leistungsfähige und betriebssichere Anlagen zur Ableitung und Reinigung der anfallenden Abwässer. Die zunehmenden Anforderungen an die Reinigungsleistung bei steigenden Betriebskosten bedingen sowohl eine schnelle Anpassung des Reinigungsprozesses an Mengen- und Qualitätsschwankungen sowie eine weitgehende Rationalisierung

des Betriebes. Um diesen Forderungen zu jeder Zeit gerecht zu werden, sind einheitliche Kontroll- und angepaßte Steuer- sowie Regelstrategien erforderlich.

Auch der Nachweis, daß bei Einleitungen in die Kanalisation bzw. in den Vorfluter die gesetzlich festgesetzten Mindestanforderungen eingehalten werden, setzt die Anwendung einheitlicher und allgemein anerkannter Untersuchungs- und Analysenmethoden voraus. Hierzu sowie in der Meß- und Regeltechnik sind in der Bundesrepublik Deutschland in den vergangenen Jahren eine Reihe von Festlegungen und Entwicklungen erfolgt, über die hier an einigen Beispielen berichtet werden soll.

2. Abwasser- und Schlammanalytik

Auf die Entwicklungen in der Abwasser- und Schlammanalytik hatten die Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes vom Dezember 1976 (1), insbesondere mit dem § 7a "Anforderungen an das Einleiten von Abwasser" und das Abwasserabgabengesetz vom September 1976 (2) sowie die verschiedenen Verwaltungsvorschriften über Mindestanforderungen an das Einleiten (3) von Abwasser entscheidenden Einfluß. Auch das Arbeitsblatt A 115 aus dem Regelwerk der Abwassertechnischen Vereinigung, das "Hinweise für das Einleiten von Abwasser in eine öffentliche Abwasseranlage" enthält so wie die Entwässerungssatzungen der Städte verlangen einheitliche Methoden der Abwasseranalytik. Nicht zuletzt verlangte die kürzlich erlassene Verordnung über das Aufbringen von Klärschlamm reproduzierbare Analysenmethoden.

2.1 Analysen zur Abwasseruntersuchung

Aufgrund der verschiedenen gesetzlichen Forderungen und technischen Richtlinien ist in den letzten Jahren eine

Überarbeitung der Deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung von verschiedenen Expertengruppen vorgenommen worden. Gleichzeitig sind diese Einheitsverfahren nach einer Absprache zwischen der Fachgruppe Wasserchemie und dem Deutschen Institut für Normung in deutsche DIN-Normen und teilweise sogar in internationale ISO-Normen überführt worden. In den Jahren 1976 bis April 1983 sind bisher rund 60 einzelne Normblätter mit chemisch-physikalischen Bestimmungsmethoden erschienen, von denen etwa 20 in internationale Normen übernommen wurden (Anlage 1.1 bis 1.5). Wie schwierig es ist, einzelne Methoden zur allgemeinen Anwendbarkeit und Übertragbarkeit zu bringen, ist aus der Tatsache zu erkennen, daß trotz des dringenden Bedürfnisses einer einheitlichen CSB-Bestimmung für das Abwasserabgabengesetz die Bearbeitung dieser Analysemethoden noch nicht endgültig zum Abschluß gebracht werden konnte. Für diese und einige andere Untersuchungen wie zum Beispiel Chrom-VI existieren vorübergehend noch verschiedene Konventionen bis zur Fertigstellung der Normen.

In den letzten Jahren sind insbesondere die Belastungen von Luft, Gewässer und Boden durch Schwermetalle in den Vordergrund gerückt. Der häufig sehr große Probenumfang und die unterschiedlichen Konzentrationen erforderten die Entwicklung und Anwendung spezieller Analysemethoden. So mußten beispielsweise für die Untersuchungen über die Herkunft und den Verbleib von Schwermetallen im Abwasser und Klärschlamm der Landeshauptstadt München zeitweise monatlich über 200 Wasser- und Schlammproben auf 21 Elemente untersucht werden. Die Fülle an Untersuchungen erforderte eine straffe Organisation der Analyseprozesse.

Zur vollständigen Erfassung der Schwermetalle im Abwasser war die Vorbehandlung der Proben mit einem Aufschlußverfahren erforderlich. Hierbei ist einheitlich die Methode nach DIN 38406 E 19 angewandt, wobei mit HNO_3 und H_2O_2 versetzt wird. Beim Quecksilber wurde das Aufschlußverfahren nach DIN 38406 E 12 angewendet, bei dem mit Schwefelsäure und Salpetersäure sowie Kaliumpermanganat versetzt und schließlich unter Zusatz von Kaliumperoxidsulfat erhitzt wird. Das überschüssige Oxidationsmittel muß schließlich mit Hydroxylammoniumchlorid reduziert werden. Die Schlammproben sind nach der DIN 38414 S 7 mit Königswasser aufgeschlossen worden (4).

Für die Bestimmung der einzelnen Elemente ist in München erstmalig in großem Umfang die ICP-Atomemissionsspektrometrie (ICP-AES) angewandt worden, wobei ein leistungsfähiges Atomemissionsspektrometer mit Argonplasmaanregung (Jarrel-ASH Mark II) zur Anwendung kam. Mit diesem Gerät konnten simultan folgende Elemente mit den angegebenen Nachweisgrenzen gemessen werden:

Element:		Nachweisgrenze: ($\mu\text{g/l}$)
Antimon	(Sb)	50
Barium	(Ba)	3
Blei	(Pb)	20
Bor	(B)	10
Cadmium	(Cd)	5
Chrom	(Cr)	10
Cobalt	(Co)	10
Eisen	(Fe)	20
Calcium	(Ca)	1
Kupfer	(Cu)	10

Mangan	(Mn)	5
Molybdän	(Mo)	10
Nickel	(Ni)	10
Phosphor	(P)	50
Silber	(Ag)	5
Zink	(Zn)	5
Zinn	(Sn)	25
Vanadium	(V)	10
Natrium	(Na)	20

Der Einsatz der sehr schnellen ICP-AES-Analytik ermöglichte die Bewältigung eines sehr umfangreichen Analysenprogrammes unter Einsatz von relativ geringen finanziellen Mitteln. Die Abwässer der Industrieenanleiter in München wurden ausschließlich mit dieser Methode gemessen. Die gemäß der Entwässerungssatzung der Stadt München zu überwachenden Grenzwerte liegen in der Größenordnung von 1 mg/l und damit im optimalen Meßbereich des Gerätes. Ebenso konnten die Schwermetalle in den Aufschlüssen der Schlämme vollständig mit dem Verfahren der Atomemission bestimmt werden.

Schließlich stellt die Atomabsorptionspektrometrie (AAS) im Hinblick auf Nachweisgrenzen eine gute Ergänzung für das ICP-AES-Verfahren dar. Ein Nachteil ist der wesentlich höhere Zeit- und Personalaufwand. Für die Elemente Cadmium (Cd) und Blei (Pb) war es in den Wässern aus diffusen Quellen sowie den Zuläufen und dem Ablauf der Kläranlagen notwendig, auf die empfindlichere elektrophotometrische AAS-Methode (Perkin-Elmer 5000) auszuweichen. Die Elemente wurden nach DIN 38406 E 6 (Pb) und 38406 E 19 (Cd) bestimmt. Es konnten folgende Nachweisgrenzen erreicht werden:

Element:		Nachweisgrenze: ($\mu\text{g/l}$)
Arsen	(As)	0,5
Blei	(Pb)	5
Cadmium	(Cd)	0,3
Quecksilber	(Hg)	0,3

Die Quecksilberanalytik erfolgte mittels AAS-Kaltdampf-
methode nach DIN 38406 E 12.

Aufgrund des hohen Meßwertaufkommens war die Ergänzung
der Meßinstrumente mit einer EDV-Analge notwendig. Der
Computer sorgte zum Beispiel für den Fall der ICP-AES
in Form eines Dialog-Verfahrens für die stets richtige
Durchführung der Analysen. Darüber hinaus arbeitete der
Rechner ein übersichtliches Endprotokoll aus, das auch
im Falle der Industrieleitungen die Grenzwertüber-
schreitung automatisch markierte. Schließlich wurden
die Daten mit Hilfe des Computers auf physikalische
Speicher abgelegt, so daß sie auch für spätere Berech-
nungen zur Verfügung standen.

2.2 Analysen zur Schlammcharakteristik

Da die landwirtschaftliche Schlammverwertung durch die
zunehmenden Mengen an Schadstoffen, vorwiegend Schwer-
metallen, im Klärschlamm und die Bedingungen der Auf-
bringungsverordnung in letzter Zeit sehr stark einge-
schränkt sind, muß der Klärschlamm entweder auf Deponien
abgelagert oder einer Verbrennung zugeführt werden. In
beiden Fällen wird eine Entwässerung des Schlammes bis
auf einen bestimmten verfahrensabhängigen Wassergehalt
gefordert. Zur Charakterisierung des Entwässerungsver-
haltens von Schlämmen und in gewissem Umfang auch zur

Entscheidungshilfe bei der Auswahl bestimmter Entwässerungsverfahren sind in letzter Zeit verschiedene Labor-kennwerte angewandt worden. Hierzu gehören der spezifische Filtrationswiderstand, die kapillare Fließzeit (CST), die Kompressibilität und die Teilchengrößenverteilung im Klärschlamm. Nach neueren Untersuchungen läßt sich anhand dieser Laborkennwerte auch der erforderliche Aufwand an Konditionierungsmitteln überschläglich im voraus ermitteln.

Dem spezifischen Filtrationswiderstand liegt die Bestimmung der Filtrationsgeschwindigkeit eines Schlammes unter definierten Bedingungen zugrunde. Hierzu werden die in festgelegten Zeitintervallen unter Vakuum bzw. unter Druck anfallenden Filtratvolumina gemessen. Die Filtrationsgeschwindigkeit ergibt sich dann zu:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot A^2}{\eta \cdot c \cdot V \cdot r}$$

Dabei bedeuten:

$\frac{\Delta V}{\Delta t}$	= Filtrationsgeschwindigkeit	$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
A	= wirksame Filterfläche	cm^2
Δp	= Filtrationsdruck	$\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$
η	= Viskosität des Filtrats	$\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2}$
ΔV	= Volumen des Filtrats	cm^3
c	= $\frac{\text{Feststoffgehalt der Probe}}{\text{Wassergehalt der Probe}}$	-
r	= spezifischer Filtrationswiderstand	cm^{-2}

Die Auflösung dieser Gleichung ergibt für den spezifischen Filtrationswiderstand:

$$r = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot A^2}{\eta} \cdot \frac{\Delta t / \Delta V}{v} \cdot \frac{1}{c}$$

oder

$$r = C \cdot \frac{b}{c} \quad \text{cm}^{-2}$$

Dabei bedeuten:

- C = Versuchskonstante cm⁻²
- b = Steigung der Filtrationsgrade -
- c = $\frac{\text{Feststoffgehalt der Probe}}{\text{Wassergehalt der Probe}}$

Zur Bestimmung der Kompressibilität wird der spezifische Filtrationswiderstand mit unterschiedlichen Drücken (4 bar, 6 bar, 10 bar) bestimmt. Die Steigung der sich daraus ergebenden Bestimmungsgeraden entspricht der Kompressibilität des untersuchten Schlammes. Sie bietet gute Anwendungsmöglichkeit für Filterpressen, wenn der optimale Preßdruck in Abhängigkeit von der jeweiligen Schlammbeschaffenheit abzuschätzen ist.

Eine heute weit verbreitete Methode zur Charakterisierung der Entwässerungsmöglichkeit von Schlämmen ist die Bestimmung der kapillaren Fließzeit CST (Capillary Suction Time). Der CST-Wert gibt an, in welcher Zeit das Filtrat auf einem Filterpapier eine bestimmte Strecke zurücklegt. Die Bestimmung läßt sich mit der Ermittlung des spezifischen Filtrationswiderstandes unter Vakuum vergleichen. Das Filterpapier übt analog zur Wasserstrahlpumpe einen

Unterdruck auf die Schlammprobe aus. Während beim spezifischen Filtrationswiderstand die Filtratmengen in konstanten Zeitabständen gemessen werden, bestimmt man beim CST-Wert die benötigte Fließzeit auf einer markierten Fließstrecke vom Einschaltpunkt bis zum Ausschaltkontakt. Diese Methode ist einfacher und schneller anzuwenden als die Ermittlung des spezifischen Filtrationswiderstandes und ist daher in vielen Anwendungsfällen vorzugsweise anzuwenden.

Bei der Charakterisierung von Abwasserschlämmen sind auch die Teilchengrößen und ihre Verteilung bedeutsam. Aus der Verfahrenstechnik sind verschiedene Methoden der Teilchenanalyse bekannt. Von den möglichen Bestimmungsmethoden scheidet die optische Messung wegen des viel zu großen Teilchenspektrums und die Trockensiebung aus, da getrockneter Schlamm nicht rieselfähig ist. Es verbleibt die Methode der Naßsiebung, wobei Siebe mit den Maschenweiten 316, 100, 63 und 32 μm verwendet werden. Die Durchgangsmengen für die verschiedenen Siebweiten werden als Trockensubstanz nach der Gauß'schen Normalverteilung auf logarithmischer Skala aufgetragen und liegen im allgemeinen auf einer Geraden. Die Ergebnisse sind gut reproduzierbar und bieten aufgrund der Linearität der Auftragung die Möglichkeit zur Extrapolation.

An allen diesen Analysenmethoden zur Schlammcharakterisierung wird zur Zeit noch an verschiedenen Stellen in der Bundesrepublik gearbeitet, um auf eindeutig definierte und reproduzierbare Methoden zu kommen und deren Aussagewert für die Praxis zu konkretisieren.

3. Meß- und Regeltechnik auf Kläranlagen

Begünstigt durch eine schwunghafte Entwicklung der Elektronik hat sich in den letzten Jahren die Automatisierung bei industriellen Prozessen sowie in den Bereichen Dienstleistung und Verwaltung weit verbreitet. Auf dem Gebiet der Abwassertechnik hat sich diese Entwicklung jedoch nur sehr zögernd eingeführt, weil wesentliche Voraussetzungen für den Einsatz automatischer Einrichtungen zur Prozeßführung nicht oder nur teilweise gegeben sind. Von den vielen möglichen Teilprozessen der Abwasserreinigung und der Schlammbehandlung lassen sich jedoch in fast allen Fällen die für die Betriebskontrolle erforderlichen Daten erfassen (5).

3.1 Parameter und Meßgeräte

Die Verwirklichung einer Automatisierung setzt die Messung von Parametern voraus, die als Führungsgröße für die Prozeßsteuerung geeignet sind. Für die Einsatzmöglichkeit der Meß- und Analysengeräte sind folgende Voraussetzungen erforderlich:

- kontinuierliche oder quasi-kontinuierliche Messung
- hohe Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit
- große Meßgenauigkeit mit geringem Fehlerbereich
- eindeutige Aussage über den Prozeßzustand und -verlauf
- kurze Meß- und Analysendauer.

So ist eine Automatisierung bekannter Reinigungsverfahren heute überall dort möglich, wo man über klar definierte und meßbare Parameter und geeignete Meß- bzw. Analysengeräte verfügt. Als Beispiel dafür können Drücke, Drehzahlen und Temperaturen genannt werden. Diese Parameter sind mit der zur Verfügung stehenden Technik exakt und

kurzfristig meßbar. Sie beschreiben den jeweiligen Betriebszustand in eindeutiger Weise. Deshalb bereiten sie relativ wenig Probleme. Überall dort, wo die Aussagekraft der Parameter für den zu steuernden Prozeß begrenzt ist oder wo sie meßtechnisch nicht in der erforderlichen Weise erfaßbar sind, ist zur Zeit eine Steuerung mit dem Ziel der Prozeßoptimierung noch nicht möglich (6).

Besondere Schwierigkeiten bestehen bei der Prozeßsteuerung biologischer Verfahren. Ein Grund hierfür ist in den nicht befriedigenden Möglichkeiten der Beschreibung des Substratangebotes und der Leistungsfähigkeit der am biologischen Abbau beteiligten Mikroorganismen zu sehen. Die zur Zeit anwendbaren Parameter sind Summenparameter, die die Bestimmung des biochemischen Sauerstoff-Bedarfs (BSB) oder die Bestimmung der durch Kaliumdichromat oxidierbaren organischen Substanz (CSB). Diese Meßgrößen lassen nur eine sehr begrenzte Aussage über die tatsächliche biologische Abbaubarkeit der organischen Fracht und über die Geschwindigkeit der biochemischen Umsetzung sowie über die erzielbaren Restkonzentrationen zu.

Selbst bei Kenntnis geeigneter Steuerparameter bleibt die Meßwerterfassung häufig dennoch problematisch, wenn die erforderlichen Meßgeräte für das schwierige Medium Abwasser und den robusten Kläranlagenbetrieb nicht geeignet sind. Oft können die angebotenen Geräte nur unter hohem Wartungsaufwand betriebsbereit gehalten werden, oder sie arbeiten nicht mit der erforderlichen Zuverlässigkeit. So bilden häufig die Meßgeräte das schwächste Glied bei der Automatisierung.

3.2 Mathematische Modellierung

Eine weitere Voraussetzung neben der Meßbarkeit repräsentativer Parameter ist eine detaillierte Kenntnis der Prozeßkinetik. In der Literatur sind für die meisten Teilprozesse der Klärtechnik sehr unterschiedliche Modellansätze angegeben. Dabei fällt insbesondere die Vielfalt von Veröffentlichungen auf, die sich mit der Modellierung des Belebungsverfahrens befaßt. Dies weist auf die besondere Problematik dieses Teilprozesses der Klärtechnik hin. Es existieren allerdings auch einige mathematische Ansätze, die mit hinreichender Genauigkeit die Sequenz der einzelnen Abbauschritte erfassen und die Randbedingungen berücksichtigen. Häufig sind jedoch der meßtechnische, der zeitliche oder der apparative Aufwand so groß, daß diese Modelle zur Steuerung der biologischen Prozesse in der Kläranlagenpraxis nicht sinnvoll eingesetzt werden können. Jedoch gibt es für einige Teilprozesse der Abwassertechnik realisierbare Steuerstrategien.

3.3 Gerätetechnische Ausrüstung

Die zur Durchführung von Automatisierungsmaßnahmen notwendigen technischen Geräte wie Steuereinheit, Regler oder elektronischer Rechner werden von der Industrie mit einem Entwicklungsstand angeboten, der sämtliche in der Klärtechnik auftretenden Probleme der hardware zu lösen vermag. Die notwendige technische Ausrüstung wird durch die Aufgabenstellung festgelegt, wobei zusätzliche Gesichtspunkte wie Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu berücksichtigen sind. In vielen Fällen können einfache Regelungen oder Steuerungen ausreichen. Sobald aber eine größere Anzahl Daten und komplexere Vorgänge zu erfassen sind, ist der Einsatz elektronischer Rechner im allge-

meinen unumgänglich.

Bei niedrigen Automatisierungsstufen greift noch der Mensch über die Stellglieder in den Prozeßablauf ein. Die notwendigen Informationen liefern dabei die Anzeigergeräte der Meßgrößen. Auf höheren Automatisierungsstufen sind in den Prozeß bereits Steuerketten und Regler integriert, die durch selbsttätige Eingriffe die für den Prozeßablauf erforderlichen Werte der Führungsgrößen aufrecht erhalten. Schließlich werden Regelung und Steuerung koordiniert, die Sollwerte vom Rechner ermittelt bzw. vorgegeben und Maßnahmen zu deren Umsetzung ausgeführt. Ziel des Einsatzes elektronischer Rechner wird jedoch immer der höchste erzielbare Automatisierungsgrad, nämlich das Führen und Optimieren des Prozeßablaufes sein (7).

4. Einsatzmöglichkeiten elektronischer Rechner

Für den praktischen Kläranlagenbetrieb lassen sich die Vorteile eines Rechneinsatzes wie folgt definieren:

- Erhöhung der Elastizität durch schnelle Anpassung an Belastungsschwankungen
- Vergleichmäßigung der Ablaufqualität auf niedrigem Niveau
- Optimierung des Klärprozesses durch maximale Ausnutzung der Leistung der Klärverfahren sowie der Kapazität der Anlage
- Erhöhung der Prozeßstabilität und der Betriebssicherheit durch schnelleres Erkennen von Störgrößen und unmittelbares Einwirken auf den Prozeß
- Erfassung von Meßdaten und deren Weiterverarbeitung zur Betriebskontrolle und Abrechnung oder zur Beweissicherung
- Abfragen und Darstellen von Betriebszuständen
- Meldung von Betriebsstörungen und Abruf von Wartungsarbeiten

- Errechnung von Kenngrößen
- Reduzierung des anfallenden Datenmaterials
- Bilanzierung des Energiehaushaltes
- Protokollierung der Daten.

Aus dieser Aufzählung läßt sich erkennen, daß die Prozeßüberwachung, d. h. die Datenerfassung, die Datenverarbeitung und die Datendokumentation heute bereits weitgehend durch elektronische Rechner möglich ist. Eine Prozeßführung ist dagegen nur für einige Teilprozesse zu verwirklichen, da hierfür die Voraussetzungen teilweise noch fehlen.

4.1 Steuerung des Belebungsverfahrens

Das Belebungsverfahren ist in der Bundesrepublik zur Zeit das vorherrschende Verfahren zur Eliminierung von biologisch abbaubaren Substanzen aus dem Abwasser. Es ist gleichzeitig das biologische Verfahren mit den höchsten Betriebskosten. Deshalb ist eine Optimierung dieses Prozesses besonders erstrebenswert.

Als ein erster Schritt zur Vergleichmäßigung des Prozeßablaufs im Belebungsbecken kann der Feststoffgehalt des belebten Schlammes durch Steuerung konstant gehalten werden. Da Schwankungen des Feststoffgehaltes im Fall eines ungesteuerten Zuflusses unvermeidbar sind, muß die rückgeführte Schlammmenge laufend der zufließenden Abwassermenge angepaßt werden. Da zur Zeit noch keine Meßgeräte zur direkten kontinuierlichen Ermittlung des Feststoffgehaltes zur Verfügung stehen, weicht man auf indirekte Methoden aus. Mit Hilfe der Trübungsmessung ist es möglich, über eine Eichkurve den Feststoffgehalt des belebten Schlammes mit ausreichender Genauigkeit zu ermitteln. Mit diesem Parameter bzw. über die Messung der Schlammspiegelhöhe

in der Nachklärung läßt sich eine Regelung des Überschussschlammabzuges und damit eine weitgehend konstante Feststoffkonzentration im Belebungsbecken erreichen.

Als weitere Möglichkeit zur Vergleichmäßigung des Prozeßablaufes kann das Belebungsverfahren über ein konstantes Schlammalter gesteuert werden. Diese Methode bietet zunächst analytische Vorteile, da als Eingangsgröße nur die Konzentration des belebten Schlammes zu bestimmen ist. Die Messung der Schmutzstoffkonzentration ist hierbei nicht notwendig. Zur Einhaltung eines gewünschten Schlammalters ist dem System täglich eine bestimmte Menge Biomasse als Überschussschlamm zu entnehmen. Die Ermittlung der Schlammmenge und des Schlammabzuges bereiten keine Schwierigkeiten. Dieses Steuerkonzept bringt im Vergleich zur starren Betriebsweise mit konstanter Schlammkonzentration auch betriebliche Verbesserungen, da die Schlammkonzentration durch unterschiedliche Zuwachsraten an die reale Zulaufbelastung angepaßt wird.

Eine weitere Möglichkeit zur Vergleichmäßigung des Wirkungsgrades und zur Minimierung des Energieeinsatzes ist die Einhaltung einer konstanten Schlammbelastung. Da die Anpassung des Feststoffgehaltes an die Schmutzfracht über eine Variation des Rücklaufverhältnisses nur innerhalb enger Grenzen möglich ist, hat man bei Untersuchungen im Betriebsmaßstab auf der Kläranlage Schwetzingen (8) durch Zu- und Abschalten von Belebungsbecken-Einheiten eine stufenweise Verminderung oder Vermehrung der Biomasse in Abhängigkeit von der eingeleiteten Schmutzfracht vorgenommen. Bei der Erprobung dieses Steuerkonzeptes wurde die Schmutzstoffkonzentration im Zulauf als TOC, die Feststoffkonzentration im Belebungsbecken über die Trübungs-

messung und der Zufluß induktiv bestimmt.

Ein weiterer Vorschlag für eine automatisierte Betriebsführung des Belebungsverfahrens sieht die Aufrechterhaltung einer konstanten Schlammbelastung mit der Bestimmung der Respirationsrate des belebten Schlammes vor. Die Zehrungsmessung wird direkt im Belebungsbecken bzw. im Rücklaufschlamm vorgenommen. Das Atmungs-Aktivitäts-Meßgerät bestimmt in einem geschlossenen, ringförmigen System durch elektrometrische Messungen die Geschwindigkeit der mikrobiellen Sauerstoffzehrung zwischen zwei definierten Grenzwerten quasi-kontinuierlich. Zusätzlich wird die Bestimmung der Trockensubstanz zur Ermittlung spezifischer Atmungswerte über Sedimeter vorgeschlagen (9).

4.2 Steuerung der chemischen Fällung

Bei Abwassereinleitungen in leistungsschwache Vorfluter oder bei Gewässern, deren Nutzung höhere Anforderungen an die Ablaufqualität stellt, bzw. wenn Eutrophierungsgefahr besteht, genügt die Reinigungsleistung mechanisch-biologischer Kläranlagen nicht mehr. In solchen Fällen sind weitergehende Reinigungsmaßnahmen erforderlich, wobei in der Hauptsache eine weitgehende Umwandlung bzw. Elimination von Stickstoff- und Phosphorverbindungen angestrebt wird. Während die Stickstoffelimination überwiegend auf biologischem Wege vorgenommen wird, ist die Phosphorbeseitigung in der Regel am besten durch eine chemische Fällung zu erreichen. Darüber hinaus kann die chemische Fällung für die Sanierung bestehender überlasteter Kläranlagen verwendet werden, wobei durch Verminderung der gelösten organischen Substanz eine Entlastung der biologischen Stufe erzielt wird.

Um die Betriebskosten der chemischen Fällung möglichst gering zu halten, ist eine Anpassung der Fällmittelmenge an die zu eliminierende Stofffracht erforderlich. Sowohl zu hohe als auch zu niedrige Dosiermengen beeinträchtigen außerdem die Reinigungsleistung des Verfahrens.

Bei Untersuchungen im Betriebsmaßstab des Institutes für Wassergütewirtschaft der Technischen Universität München ist eine Steuerung der Fällmittelmenge sowohl über die Trübungsdifferenzmessung als auch durch Konduktometrie durchgeführt worden. Die Steuerung der Fällmittelmenge mit Hilfe der Trübungsdifferenz als Führungsgröße beruht darauf, daß bei Zugabe bestimmter Fällmittelmengen eine maximale Lichtdurchlässigkeit im überstehenden Wasser erreicht wird, die bei weiterer Steigerung der Fällmittelzugabe wieder abnimmt. Nach Beendigung des Mischvorganges und dem Absetzen der Flocken liegt das im Überstand gemessene Trübungsminimum bei eben der Fällmittelmenge, bei der in der Flockenbildungsphase der maximale Wert erreicht wurde. Aufgrund der guten Korrelation zwischen Trübung und Phosphatgehalt ist bei dieser Fällmittelmenge auch das Minimum der Phosphatkonzentration zu erwarten. Ein elektronischer Rechner registriert diejenige Fällmittelmenge, die im Gerät in einer Mischstrecke mit konstanter Abwasserbeschickung die geringste Trübung im Überstand verursacht. Zusammen mit der zufließenden Wassermenge und einem konstanten Faktor, der die örtlich bedingten spezifischen Verhältnisse erfaßt, wird die zur Abwasserbehandlung benötigte Fällmittelmenge errechnet und für die Dosiereinrichtung in ein Steuersignal transformiert.

Bei der Steuerung durch Konduktometrie dient als Führungsgröße die Differenz der Leitfähigkeit vor und nach der

Flockenbildung. Durch Destabilisierung und Ausfällung der negativ geladenen Abwasserinhaltsstoffe sinkt die Leitfähigkeit des Abwassers, erreicht ein Minimum und steigt schließlich bei weiter erhöhter Fällmittelzugabe wieder an. Hier läßt sich über einen Mikroprozessor in Verbindung mit der Zuflußmessung diejenige Fällmittelmenge ermitteln, bei der die Leitfähigkeit auf ein Minimum gesunken war und daraus ein Steuersignal an die Dosiereinrichtung abgibt.

4.3 Steuerung der Stickstoffelimination

Da Stickstoff in seinen wasserrelevanten Verbindungen oft unerwünschte Sekundärreaktionen, wie Belastung des Sauerstoffhaushaltes, Eutrophierung stehender Gewässer oder toxische Auswirkungen auf das tierische Leben hervorrufen kann und Stickstoff bei der Trinkwasseraufbereitung nur mit großem Aufwand zu entfernen ist, strebt man bereits bei der Abwasserreinigung eine weitgehende Stickstoffelimination an. Dafür eignen sich unter anderem biologische Verfahren zur Denitrifikation.

In verschiedenen Untersuchungen wurde nachgewiesen, daß die Anordnung eines Nitrifikationsbeckens vor dem Belebungsbecken den besten Eliminationsgrad ergibt. Der Rücklaufschlamm und das nitrathaltige Wasser werden in das Denitrifikationsbecken zurückgefördert und dort mit dem Abwasser ohne Zufuhr von Sauerstoff gemischt. Das zufließende Rohabwasser dient dabei als Wasserstoffdonator. Zur Steuerung der einzelnen Teilströme ist dabei die Messung folgender Parameter notwendig:

- Menge der Teilströme
- Schlamm Trockensubstanz

- organische Konzentration
- Nitratgehalt.

Die Messung der Teilströme ist auf induktivem Weg relativ problemlos. Die Schlamm Trockensubstanz läßt sich über die Trübungsmessung ermitteln. Da bei der Steuerung der Stickstoffelimination der Messung des biologisch abbaubaren Substrates nicht die entscheidende Bedeutung zukommt wie bei der Steuerung des biologischen Abbaues, wird hier die TOC-Messung vorgeschlagen, mit der bereits positive Erfahrungen auf verschiedenen Kläranlagen vorliegen. Die automatische und kontinuierliche Bestimmung des Nitratgehaltes ist mit ionensensitiven Elektroden möglich. Der Entwicklungszustand dieser Meßsonden bezüglich Meßgenauigkeit und Standsicherheit befriedigt allerdings noch nicht ganz.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die veränderte Zusammensetzung der Abwässer und die zunehmenden Anforderungen an den Gewässerschutz fordern eine ständige Überwachung der Zusammensetzung von industriellen und kommunalen Abwässern sowie der Ablaufqualität von Kläranlagen. Da hiervon häufig wasserrechtliche Konsequenzen und monetäre Belastungen abhängen, ist die Standardisierung für die Praxis geeigneter und reproduzierbarer Meß- und Analysenverfahren erforderlich. Dies erfolgt zur Zeit durch die Überarbeitung und Übernahme der Deutschen Einheitsverfahren in das Deutsche Normenwerk. Dabei sind oft kosten aufwändige Analysenverfahren erforderlich, um durch gleichzeitige Messung mehrerer Parameter in kurzen Zeitabständen eine Rationalisierung von umfangreichen Reihenuntersuchungen, wie z.B. bei Schwermetallbestimmungen, vornehmen zu

können. Ziel der Automatisierung auf Kläranlagen ist es, durch Anpassung an ständig veränderliche Zulauf- und Betriebsbedingungen eine sichere Prozeßführung bei möglichst gleichzeitiger Erhöhung der Reinigungsleistung zu erreichen. Damit sind in der Regel auch Energieeinsparungen und betriebliche Rationalisierungen verbunden.

Die Verwirklichung jeglicher Automatisierungsbestrebungen setzt aber die Messung von Parametern voraus, die als Führungsgröße für die Prozeßsteuerung geeignet sind, wobei neben einer kontinuierlichen Meßbarkeit eine geringe Störanfälligkeit, hohe Meßgenauigkeit und kurze Meß- und Analysenzeiten erforderlich sind.

Für die Steuerung von Teilprozessen lassen sich elektronische Rechner einsetzen, mit denen gleichzeitig eine Datenerfassung und Betriebskontrolle durchgeführt werden kann. Für den praktischen Kläranlagenbetrieb liegen die wichtigsten Vorteile eines Rechneinsatzes bei

- einer Vergleichmäßigung der Ablaufqualität auf niedrigem Niveau,
- der Optimierung des Klärprozesses unter weitgehender Ausnutzung der verfügbaren Kapazität,
- der Erhöhung der Prozeßstabilität und der Betriebssicherheit,
- einer Verbesserung der Betriebskontrolle.

Für einige Teilprozesse der Abwasserreinigungstechnik (Belebungsverfahren, chemische Fällung und Denitrifikation) werden realisierbare Steuerungskonzepte vorgestellt. Die Einsatzmöglichkeit solcher Verfahren hängt ganz wesentlich von der Verfügbarkeit technisch ausgereifter und für den Kläranlagenbetrieb geeigneter Meß- und Analysenverfahren ab.

Abb. 1: Untersuchungen der Schwermetallemissionen im Einzugsgebiet des Klärwerks München I

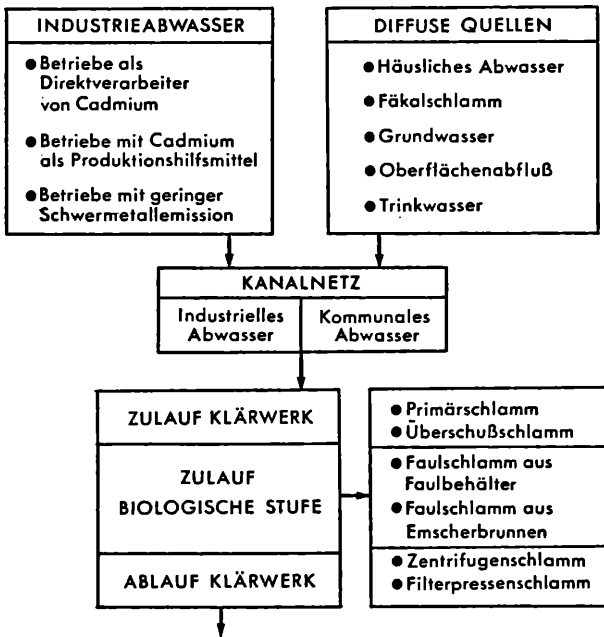


Abb. 2: Funktionsschema des ICP-Multi-Element-Emissions-Spektrometers

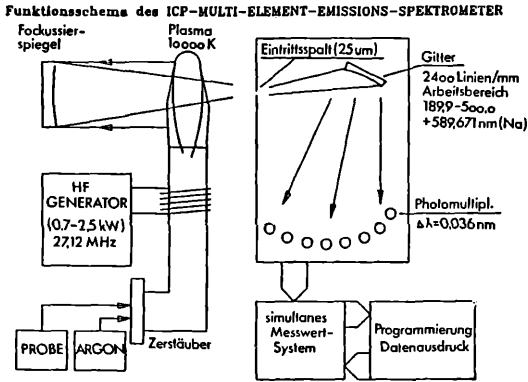


Abb. 3: Organisationsschema der Schwermetallanalyse

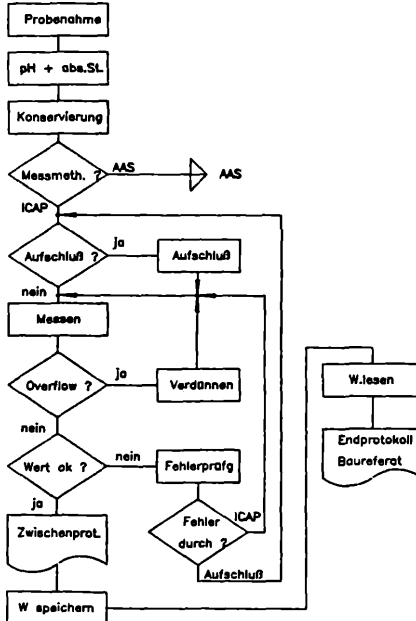


Abb. 4: Teilprozesse der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung

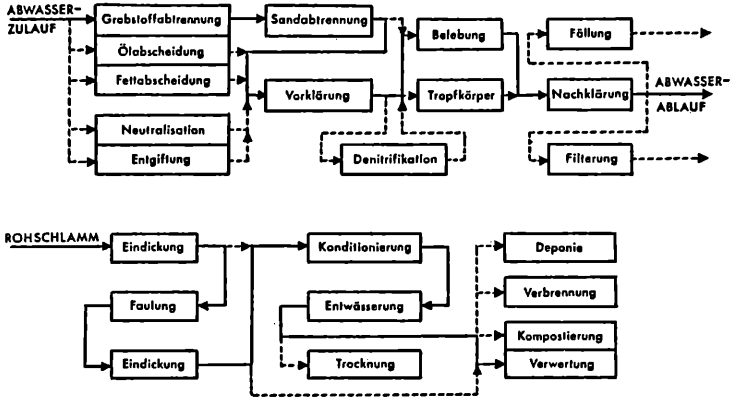


Abb. 5: Aufgaben eines Prozeßrechners

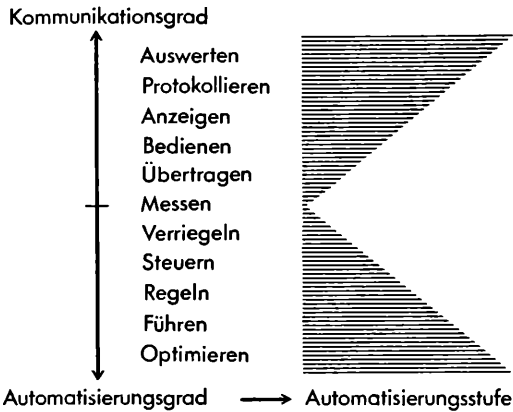


Abb. 6: Schematische Darstellung des Belebungsverfahrens

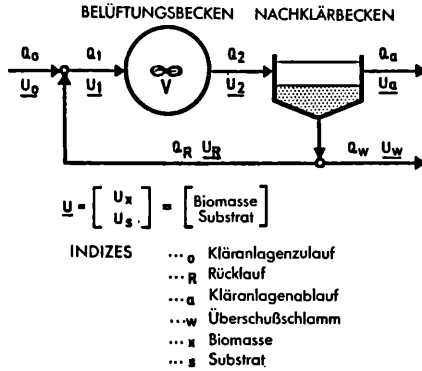


Abb. 7: Betriebsschema der Kläranlage Schwetzingen mit Versuchsaufbau

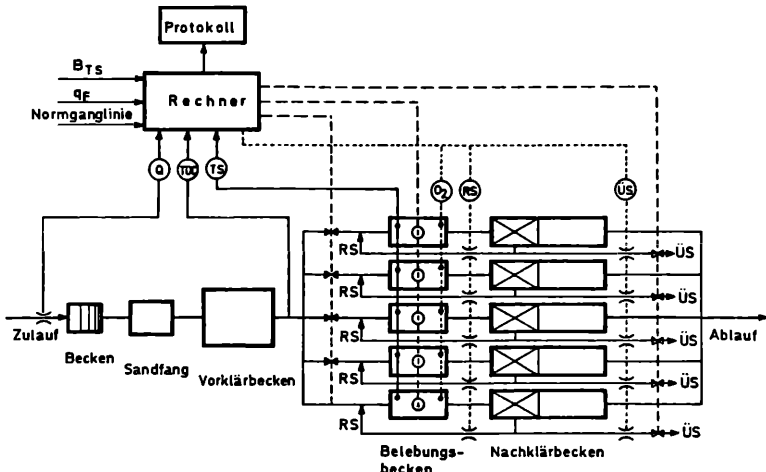
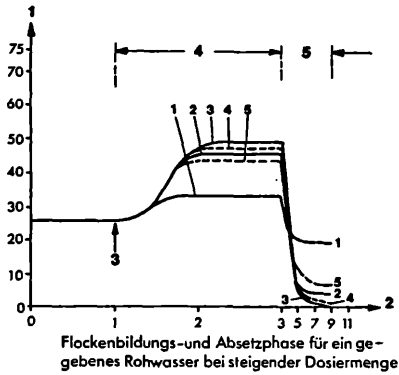


Abb. 8: Trübungsverlauf in Abhängigkeit von der Fällmittelzugabe



- 1 Trübung in
- 2 Zeit in min.
- 3 Injektion des Flockungsmittels
- 4 Flockenbildung
- 5 Absetzphase

Abb. 9: Vorschlag eines Steuerkonzeptes für die Zugabe von Fällmitteln

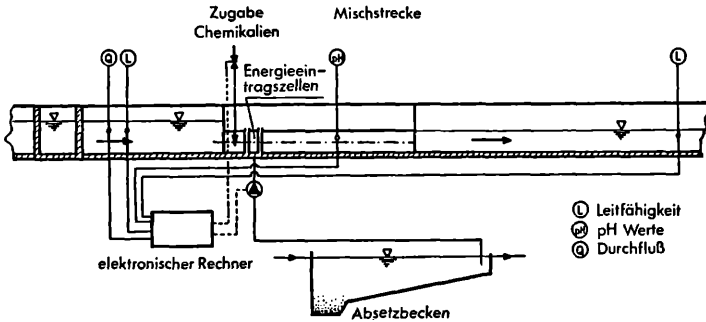


Abb. 10: Anordnung eines vorgeschalteten Denitrifikationsbeckens beim Belebungsverfahren

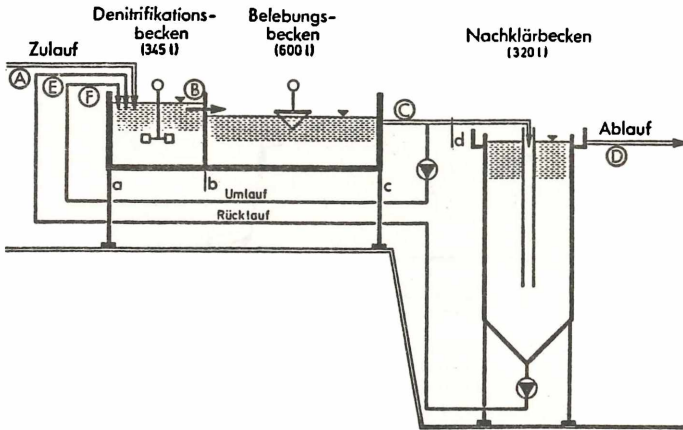
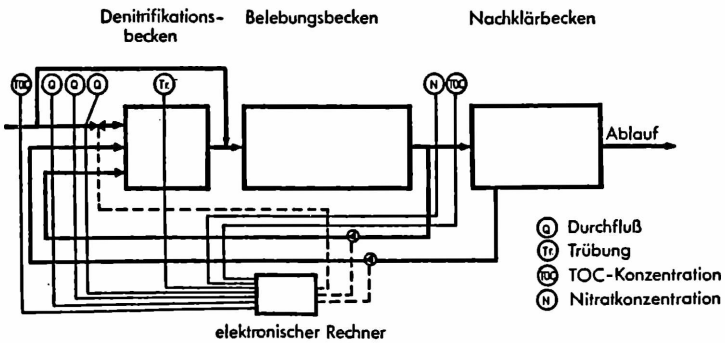


Abb. 11: Vorschlag eines Steuerkonzeptes für eine getrennte Denitrifikation



Stand: April 1983

Genormte Deutsche Einheitsverfahren

(E = Norm-Entwurf, (e) = englische Fassung vorhanden)

DIN-Nr	Ausgabe- datum	Titel	ISO
E 38 402 T 41	10.82	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Allgemeine Angaben (Gruppe A); Ringversuche, Planung und Organisation (A41)	
E 38 402 T 42	10.82	-; -; Ringversuche, Auswertung (A42)	
38 404 T 1	12.76	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C); Bestimmung der Färbung (C1) (e)	DP 7887
38 404 T 2	12.76	-; Bestimmung der Trübung (C2) (e)	DP 7027
38 404 T 3	12.76	-; -; Bestimmung der Absorption im Bereich der UV-Strahlung (C3) (e)	
38 404 T 4	12.76	-; -; Bestimmung der Temperatur (C4) (e)	
E 38 404 T 5	1 83	-; -; Bestimmung des pH-Wertes (C5)	DP 7150
E 38 404 T 6	1 83	-; Bestimmung der Redox-Spannung (C6)	
38 404 T 8	9.82	-; -; Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit (C 8)	DP 7888
38 404 T 10	5.79	-; -; Calciumcarbonatsättigung eines Wassers (C10)	
E 38 405 T 5	1.82	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Anionen (Gruppe D); Bestimmung der Sulfat-Ionen (D5)	DP 5664
38 405 T 9	5.79	-; -; Bestimmung des Nitrat-Ions (D9)	DP 7890
38 405 T 10	2.81	-; Bestimmung des Nitrit-Ions (D10)	DIS 6777
E 38 405 T 11	2.82	-; -; Bestimmung von Phosphorverbindungen (D11)	DP 6878
38 405 T 12	6.81	-; -; Bestimmung des Arsens (D12)	ISO 6595
38 405 T 13	2.81	Bestimmung von Cyaniden (D13)	ISO/DIS 6703/1-3
38 405 T 17	3.81	Bestimmung von Borat-Ionen (D17)	

Anlage 1.2

DIN-Nr	Ausgabe- datum	Titel	ISO
E 38 406 T 1	12.81	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Kationen (Gruppe E); Bestimmung von Eisen (E1)	ISO 6332
E 38 406 T 2	12.81	-; Bestimmung von Mangan (E2)	DP 6333
38 406 T 3	9.82	-; -; Bestimmung von Calcium und Magnesium (E3)	DP 6059.2
E 38 406 T 5	7.82	-; -; Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs (E5)	
38 406 T 6	5.81	-; -; Bestimmung von Blei (E6)	DP 6061
38 406 T 8	10.80	-; -; Bestimmung von Zink (E8) (e)	
38 406 T 12	7.80	-; Bestimmung des Quecksilbers (E12) (e)	DIS 5666 Teil 1 + 2
38 406 T 19	7.80	-; Bestimmung des Cadmium (E19)	DIS 5961
38 406 T 21	9.80	-; -; Bestimmung von neun Schwermetallen (Ag, Bi, Cd, Co, Cu, Ni, Tl, Pb, Zn) nach Anreicherung durch Extraktion (E21)	
E 38 408 T 4	1 83	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Gasförmige Bestandteile (Gruppe G); Bestimmung von freiem Chlor und Gesamtchlor (G4)	DP 7393/ 1 + 2
(E 38 408 T 5	2.78)	ersetzt durch DIN 38 404 Teil 10	
E 38 408 T 21	1. 83	-; -; Bestimmung des in Wasser gelösten Sauerstoffes; iodometrische Verfahren (G21)	ISO/DIS 5813
38 409 T 2	7.80	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Bestimmung des Gehaltes an abfiltrierbaren Stoffen und ihres Glührückstandes (H2)	
E 38 409 T 3	1.82	-; -; Bestimmung des gesamten organisch gebundenen Kohlenwasserstoffes TOC (H3)	
38 409 T 7	5.79	-; -; Bestimmung der Säure- und Basekapazität (H7)	
E 38 409 T 8	11.82	-; -; Bestimmung der extrahierbaren organisch gebundenen Halogene (EOX) (H8)	

Anlage 1.3

DIN-Nr	Ausgabe- datum	Titel	ISO
38 409 T 9	7.80	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Bestimmung des Volumenanteils der absetzbaren Stoffe im Wasser und Abwasser (H9)	
38 409 T 10	7.80	-; -; Bestimmung der Massenkonzentration der absetzbaren Stoffe im Wasser und Abwasser (H10)	
38 409 T 13	6.81	-; -; Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Trinkwasser (H13-1 bis 3)	DP 7981
38 409 T 16	11.82	-; Bestimmung des Phenol-Index (H16)	DP 6439
38 409 T 17	5.81	-; -; Bestimmung von schwerflüchtigen, lipophilen Stoffen (Siedepunkte J 250 °C) (H17)	
38 409 T 18	2.81	-; -; Bestimmung von Kohlenwasserstoffen (H18)	DP 7981
38 409 T 23	5.80	-; -; Bestimmung der methylenblauaktiven und der bismutaktiven Substanzen (H23)	DIS 7875
38 409 T 41	12.80	-; -; Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) im Bereich über 15 mg/l (H41) (e)	DP 6060
38 409 T 43	12.81	-; -; Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB); Kurzzeitverfahren (H43)	
38 411 T 1	2.83	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Mikrobiologische Verfahren (Gruppe K); Vorbereitung zur mikrobiologischen Untersuchung von Wasserproben (K1)	
38 411 T 5	2.83	-; -; Bestimmung vermehrungsfähiger Keime mittels Membranfilterverfahren (K5)	
38 411 T 8	5.82	-; -; Nachweis von Pseudomonas aeruginosa (K8)	
38 412 T 1	6.82	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L); Allgemeine Hinweise zur Planung, Durchführung und Auswertung biologischer Testverfahren (L1)	

DIN-Nr	Ausgabe- datum	Titel	ISO
38 412 T 11	10.82	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L); Bestimmung der Wirkung von Wasserinhaltsstoffen auf Kleinkrebse (Daphnien-Kurzzeittest) (L11)	ISO 6341
E 38 412 T 13	3.82	-; -; Bestimmung von Sauerstoffproduktion und Sauerstoffverbrauch im Gewässer mit der Hell-Dunkelflaschen-Methode SPG und SVG (L 13) (Biogene Belüftungsrate)	
E 38 412 T 14	1.82	-; -; Bestimmung der Sauerstoffproduktion mit der Hell-Dunkelflaschen-Methode unter Laborbedingungen SPL (L14) (Sauerstoff-Produktionspotential)	
38 412 T 15	6.82	-; -; Bestimmung der Wirkung von Wasserinhaltsstoffen auf Fische - Fischttest (L15)	
38 412 T 20	12.80	-; -; Bestimmung der Giftwirkung von Abwässern auf Fische - Fischttest (L20)	
38 412 T 24	4.81	-; -; Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit unter Anwendung spezieller Analyseverfahren (L24)	
E 38 412 T 25	1.83	-; -; Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit, Statischer Test (L25)	
E 38 413 T 1	4.81	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Einzelkomponenten (Gruppe P); Bestimmung von Hydrazin (P 1)	
E 38 414 T 2	2.82	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des Wassergehaltes und des Trockenrückstandes bzw. der Trockensubstanz (S2)	
E 38 414 T 3	4.82	-; -; Bestimmung des Glührückstandes und des Glühverlustes des Trockenrückstandes eines Schlammes (S 3)	
E 38 414 T 4	4.83	-; -; Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S 4)	
38 414 T 5	9.81	-; -; Bestimmung des pH-Wertes in Schlämmen und Sedimenten (S 5)	

DIN-Nr	Ausgabe- datum	Titel	ISO
38 414 T 7	1.83	-; -; Aufschluß mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen (S7)	
38 414 T 10	9.81	-; -; Bestimmung des Schlammvolumenanteils und des Schlammindex (S 10)	

Literatur:

- (1) Bundestag (1976): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz-WHG) vom 14.12.1976
BGBl. I S 3341
- (2) Bundestag (1976): Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz-AbwAG) vom 13.9.1976
BGBl. I S. 2721, berichtigt
Nr. 3007
- (3) Bundesinnenministerium: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Schmutzwasser aus Gemeinden in Gewässer
(1. Schmutzwasser VwV)
- (4) BISCHOFBERGER, W.,
RUF, M.,
WINKLER, R. (1981): Herkunft und Verbleib von Schwermetallen im Abwasser und Klärschlamm.-Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München, H.34
- (5) Verschiedene
Autoren (1981): Automation und Kontrolle in der Abwassertechnik. - Mitteilungshefte des Hauses der Technik, H. 447, Vulkan-Verlag
Dr. W. Classen, Essen
- (6) HRUSCHKA, H.,
MEYER, T. (1979): Der Einsatz von Prozeßrechnern auf Kläranlagen. - Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München, H. 16
- (7) HRUSCHKA, H. (1983): Prozeßführung auf Kläranlagen durch Einsatz elektronischer Rechner.- Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München, H. 39

- (8) HRUSCHKA, H.,
HEGEMANN, W.: Optimierung und betriebliche Steuerung des Belebungsverfahrens nach dem Prinzip des variablen Reaktorvolumens.- Schlußbericht des Forschungsvorhabens O2 WA 737 mit Mitteln des BMFT
- (9) DRESSLER, H. (1981): Automatisierung der Prozeßführung kommunaler Kläranlagen.- Korrespondenz Abwasser, Jg. 28, H. 8, 574-576
- (10) OVERATH, H.
und andere (1982): Optimierung der chemischen Fällung mit Metallsalzen durch Steuerung der Fällmittelzugabe.- Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München, H. 35.

Anschrift des Verfassers: Prof.Dr.-Ing.Wolfgang BISCHOFBERGER,
Institut für Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen,
Technische Universität München, Forschungsgelände, D-8046 G a r c h i n g

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1984

Band/Volume: [1984](#)

Autor(en)/Author(s): Bischofsberger W.

Artikel/Article: [Neuere Untersuchungsmethoden in der Abwassertechnik 59-91](#)