Zur Frage der Abwasserbewertung

Von F. ZEHENDER

(Aus der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der ETH, Zürich; Direktor: Prof. Dr. O. JAAG)

Den Biologen, Chemikern, Ingenieuren und Limnologen, welche sich mit Fragen der Abwasserreinigung und des Gewässerschutzes zu befassen haben, ist die überaus grosse Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung und Konzentration von häuslichen, industriellen oder gemischt häuslich-industriellen Abwässern bekannt. Infolge der grossen Zahl verschiedenartiger Stoffe, die in Abwässern enthalten sein können, ist es oft schwierig, die Abwasserverhältnisse eines Fabrikbetriebs, einer Stadt oder gar einer Industrieregion zu überblicken. Bei der Abwasserreinigung sowie bei der Untersuchung und Beurteilung eines Vorfluters stellt sich immer wieder die Aufgabe, die verschiedenen, einem Flusse oder einer Reinigungsanlage zufließenden Abwässer auf Grund ihrer Zusammensetzung, ihres Verschmutzungsgrades und ihrer Eigenschaft, in Vorflutern oder in Reinigungsanlagen Schäden hervorzurufen, zu bewerten. Durch objektive Messungen sollen soweit als möglich diejenigen Komponenten im Abwasser bestimmt werden, die eine Beurteilung der schädlichen Wirkungen ermöglichen. Hierauf ist zu prüfen, wie nach durchgeführter Untersuchung ein Abwasser zu bewerten und wie von einer solchen Bewertung in der Praxis Gebrauch zu machen ist. Für das hier zur Diskussion gestellte Problem wollen wir folgende Fragen erörtern: Auf Grund welcher Kriterien sind Abwasserbewertungen vorzunehmen? Unter welchen Voraussetzungen sind die in Vorschlag gebrachten Systeme zur Abwasserbewertung anwendbar? Wie ist in der Praxis von ihnen Gebrauch zu machen?

Die Bewertung nach K. Imhoff, Berechnung der Einwohnergleichwerte

IMHOFF bezeichnet als Kriterium zur Bewertung eines Abwassers den fünftägigen biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB_5) und begründet dies folgendermassen: Von den gebräuchlichen Analysenmethoden gibt einzig dieser Test Auskunft über den Gehalt an vergärbaren, organischen Stoffen, und diese wiederum sind es, welche in einem Vorfluter die Lebensgemeinschaften («Biozöosen») beeinflussen, den Sauerstoffhaushalt bestimmen und welche bei der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung abzubauen sind. «Der biochemische Sauerstoffbedarf ist das beste Mass für den Verschmutzungsgrad eines Wassers und zugleich für die Arbeit, die aufgewendet werden muss, um das Wasser zu reinigen» (zitiert aus dem Taschenbuch der Stadtentwässerung [1]).

Ein Abwasser, das jedoch Substanzen enthält, die nicht zur Gruppe der vergärbaren, organischen Stoffe gehören und somit beim BSB -Ansatz nicht reagieren, kann mit dem Imhoffschen System nicht bewertet werden. Beispielsweise fällt ein freies Chlor enthaltendes Abwasser ausser Betracht.

Das Mass zur Bewertung ist diejenige BSB_5 -Menge, die von einem Fabrikbetrieb in einem Tage abgeleitet wird, angegeben in Gramm Sauerstoff. Diese Grösse ist bei Berechnungen über die Belastung eines Vorfluters oder einer Kläranlage einzusetzen.

Für den Gebrauch in der Praxis führte IMHOFF eine anschauliche Masseneinheit ein, indem er definierte: Als *Einwohnergleichwert* wird diejenige, auf Grund des BSB_5 -Testes zu ermittelnde Schmutzstoffmenge bezeichnet, welche von einem Einwohner pro Tag im häuslichen Abwasser abgegeben wird. Bei den in Deutschland herrschenden Verhältnissen beträgt in der Regel ein Einwohnergleichwert 35 g O_2 für abgesetztes Abwasser, bzw. 54 g O_2 für Gesamtabwasser [1]. Es ist somit möglich, für jedes beliebige Abwasser, zum Beispiel aus einem Industriebetrieb, die Grösse des Einwohnergleichwertes zu berechnen. Ferner kann aus dem BSB_5 -Wert des Gesamtabwassers einer Stadt und der Zahl der an die Kanalisation angeschlossenen Einwohner der in Einwohnergleichwerten ausgedrückte Industrieabwasseranteil ermittelt werden.

Als hauptsächlichste Anwendungsgebiete sind zu nennen:

1. Bei der Projektierung von Kläranlagen drückt man in der Regel die Anlagenbelastung in Einwohnergleichwerten aus. In Beschreibungen für Nichtfachleute von Abwasserreinigungsanlagen wird auf diese Weise eine

bessere Anschaulichkeit erreicht, als wenn die Schmutzstoffmenge des zufließenden Abwassers in kg BSB₅/Tag angegeben würde.

2. Bei der Berechnung des Sauerstoffhaushalts eines Fließgewässers, bei welcher der ursprüngliche Sauerstoffgehalt des Wassers, die Sauerstoffzehrung infolge der Verunreinigung und die Wiederbelüftung des Gewässers in Rechnung gestellt werden, wird mit Vorteil mit den am Gewässer angeschlossenen Einwohnern und den aus der Industrie stammenden Einwohnergleichwerten gerechnet. Eine Zusammenstellung über diese Berechnungsweise findet sich bei K. IMHOFF [2] sowie im Taschenbuch der Stadtentwässerung [1].

Die Ermittlung des Einwohnergleichwertes führt zu erheblichen Unterschieden von Ort zu Ort und von Land zu Land. IMHOFF selbst erwähnt im Taschenbuch, dass in Nordamerika, in Schweden und in der Schweiz die Werte höher sind. Auch in Deutschland stiegen die Werte in den letzten Jahren an, wohl als Folge der veränderten Lebensverhältnisse. H. LÜSSEM [3] bestimmte z. B. die Grundzahlen von sechs norddeutschen Städten, die in nachstehender Tabelle aufgeführt sind.

Von LÜSSEM in norddeutschen Städten ermittelte Grundzahlen:

Stadt	Einwohnerzahl <i>E</i>	Wasserverbrauch l/ <i>E</i> Tag	Schmutzstoffmenge BSB ₅ in g O ₂ / <i>E</i> Tag
Haferfeld	3600	33,3	70
Dorsten	5600	117,8	55
Werl-West	11200	162,0	96
Soest	28500	168,0	116
Frohnhausen	70100	222,0	92
Haltern	11700	87,0	43

In diesen sechs Städten schwankte der Einwohnergleichwert somit zwischen 43 und 116 g O₂/*E* Tag im Gesamtabwasser und betrug im Mittel rund 79 g O₂/*E* Tag. In der Schweiz rechnet man mit 50 g O₂/*E* Tag beim abgesetzten Abwasser und 75 g O₂/*E* Tag beim Gesamtabwasser. Es bestehen somit gewisse Unsicherheiten mit Bezug auf die Grösse der Grundzahlen. Es wird notwendig sein, die Werte von Zeit zu Zeit neu zu bestimmen und sich den geänderten Verhältnissen anzupassen. Einstweilen wird man weiterhin mit den bisherigen Werten rechnen, wobei jedoch stets hinzuzufügen ist, welche Grundzahl verwendet wurde.

Das System von IMHOFF zur Abwasserbewertung beruht auf einer

klaren Definition und auf einer objektiven und allgemeingebrauchlichen Analysenmethode. Unberücksichtigt bleiben aber die Stoffe, die keinen biochemischen Sauerstoffbedarf aufweisen. Für Untersuchungen, die diese Stoffe betreffen, müssen darum andere Wege eingeschlagen werden (vgl. auch F. MEINCK [4]).

Die Abwasserbewertung auf Grund von «Schmutzbeiwerten»

In den Jahren 1945 bis 1950 wurde vom Arbeitsausschuss «Reinhaltung der Gewässer», in welchem Vertreter der Abwasserverbände an der Ruhr, der Emscher, der Niers, der Wupper und weitere Abwasserspezialisten unter dem Vorsitz von H. WAGNER zusammenarbeiteten, eine *vorläufige Anleitung für die Bewertung von Abwassereinleitungen* aufgestellt. Das Ziel dieser Anleitung ist die Bewertung sämtlicher in der Praxis vorkommender Abwässer nach einheitlichen Prinzipien. Dieser Bewertungsart liegt die Idee zugrunde, die «Schädlichkeit» jedes Abwassers durch einen Koeffizienten, als «Schmutzbeiwerte», «Schädlichkeitsbeiwerte» oder «Beschaffenheitsbeiwerte» bezeichnete Zahlen anzugeben. Im Falle eines durch organische Stoffe verunreinigten Abwassers entspricht der Beiwert 1 einem Einwohnergleichwert 1. Sind neben den organischen Verunreinigungen noch andere Substanzen anwesend, z. B. freie Säuren, Salze oder Gifte, so wird der Beiwert um einen entsprechenden Betrag grösser. Die Einreihung der industriellen Abwässer in der Anleitung des Arbeitsausschusses erfolgt auf Grund langjähriger, praktischer Erfahrungen bei den Abwasserverbänden, wobei in erster Linie der zur Reinigung des Abwassers erforderliche Kostenaufwand in Rechnung gestellt wurde. Die Schmutzbeiwerte dienen den Abwasserverbänden vor allem als Grundlage für die Beitragsberechnungen [5, 6].

Der Vorschlag, den zur Reinigung eines Abwassers erforderlichen Kostenaufwand für die Bewertung der Industrieabwässer zu verwenden, ist beachtenswert. Voraussetzung für eine objektive Einreihung der Abwässer müsste aber die Festsetzung eines einheitlichen, von örtlichen Verhältnissen unabhängigen Reinigungsgrades sein. Angesichts der ständig fortschreitenden Entwicklung in der Technik der Reinigung von Industrieabwässern wird es jedoch nicht leicht sein, die Kosten nach gerechten Grundsätzen einzuschätzen. Auf welche Weise im einzelnen bei der Aufstellung der Anleitung vorgegangen wurde, ist in den zitierten Publikationen nicht näher erläutert. Gemäss der Aussage von

WAGNER [6] handelt es sich vorläufig um eine lückenhafte Übersicht, die noch der Ergänzung bedarf. Es sei zu hoffen, dass schliesslich auf Grund weiterer Untersuchungen eine allgemein anwendbare und objektive Bewertung möglich sei.

Das System des Arbeitsausschusses ist umfassender als dasjenige von IMHOFF. Die Anleitung wird im Gebiete der Abwasserverbände für verwaltungstechnische Bedürfnisse verwendet. Wie sollen aber die Beiwerte in der Praxis, beispielsweise bei der Projektierung einer biologischen Anlage angewendet werden? Angenommen, es liegt ein gemischt anorganisch-organisches Abwasser vor, so können nur die Beiwerte für die organischen Verunreinigungen in Rechnung gestellt werden. Auch bei Berechnungen der Sauerstoffverhältnisse in einem Vorfluter ist nur der Anteil der organischen Verunreinigungen zu berücksichtigen.

In Veröffentlichungen von BUCKSTEEG [7] sowie BUCKSTEEG und THIELE [8] wurde über Laboratoriumsversuche berichtet, die zu einer objektiven Bewertung eines beliebig zusammengesetzten Industrieabwassers führen sollen. Bei der in Vorschlag gebrachten standardisierten Analysenmethode wird in Gärversuchen Pepton als Substrat und Belebtschlamm als Bakterienflora verwendet. Zum Gäransatz zugesetztes häusliches Abwasser bewirkt, dass im Ansatz am Ende der Reaktionszeit ein höherer Kaliumpermanganatverbrauch festgestellt wird als in entsprechenden Kontrollversuchen ohne häusliches Abwasser. Eine gleiche Wirkung können zum Ansatz zugesetzte Giftstoffe hervorrufen, wenn sie nämlich den Peptonabbau um einen entsprechenden Betrag hemmen. Diejenige Menge des Giftes wird nun mit einem Einwohnergleichwert bezeichnet, welche im Gäransatz zum gleichen Kaliumpermanganatverbrauch am Ende der Reaktionszeit führt wie häusliches Abwasser in einer einem Einwohnergleichwert entsprechenden, aliquoten Menge.

Bei diesem Bewertungsprinzip werden zwei völlig verschiedene Kriterien, nämlich die Vergärbarkeit von organischen Stoffen einerseits und die Hemmung der Bakterientätigkeit durch ein Gift andererseits zueinander in Beziehung gesetzt. Welches ist nun die Bedeutung der experimentell ermittelten Zahlenwerte, vor allem im Hinblick auf die Vorgänge in einer Kläranlage oder in einem Vorfluter? Lassen sich die im Gäransatz beobachteten Reaktionen auf die Verhältnisse in der Kläranlage oder im Vorfluter übertragen? Da die Hemmung der Bakterientätigkeit durch ein Gift konzentrationsabhängig ist, wird sich das Gift in der Kläranlage kaum in gleicher Weise auswirken wie im Gärversuch. Im übrigen ist zu bedenken, dass im Versuch eine Reihe von Stoffen nicht wirksam sein

wird, die aber trotzdem in irgendeiner Weise schädlich sein können. Ein abschliessendes Urteil über diese Versuche wird wohl erst möglich sein, wenn weitere Ergebnisse vorliegen werden.

Diskussion zur Frage der Abwasserbewertung

Die Kriterien, mittels welcher Abwässer bewertet werden, können recht verschiedenartig sein. Welches Vorgehen führt nun aber zu einer objektiven, möglichst umfassenden und in der Praxis anwendbaren Bewertung? Allgemein lässt sich folgendes feststellen: Der anzulegende Bewertungsmaßstab soll klar definiert sein (z. B. als Menge eines bestimmten Stoffes pro Tag oder als Menge einer Stoffgruppe pro Tag), die gesuchten Zahlenwerte sollen einfach und objektiv bestimmbar sein, sie sollen von den am Gewässer interessierten Fachleuten (Limnologen, projektierende Ingenieure und andere) zur Lösung ihrer Aufgabe verwendet werden können. Es wird somit postuliert, dass als Kriterien solche Messgrößen verwendet werden, mit deren Hilfe auf naturwissenschaftlich-technischer Grundlage Auswertungen vorgenommen werden können.

Wird der Bewertung der *biochemische Sauerstoffbedarf* zugrunde gelegt (Vorschlag IMHOFF), so sind die obengenannten Forderungen zum grossen Teil erfüllt. Wie bereits diskutiert wurde, ist der BSB₅ eine Messgrösse, die sich für Berechnungen verschiedener Arten verwenden lässt. Gemäss der Definition bleibt zwar der Anwendungsbereich auf die vergärbaren, organischen Stoffe begrenzt. Trotz dieser Einschränkung werden in der Regel mit Hilfe des biochemischen Sauerstoffbedarfs die wesentlichen Schmutzstoffe in den Abwässern erfasst, worauf wir noch zurückkommen werden.

Das für die *Schmutzbeiwerte* des Arbeitsausschusses «Reinhaltung der Gewässer» [5] zugrunde gelegte Kriterium, ein ungefähr dem Aufwand für die Abwasserreinigung entsprechender Koeffizient, führt unter Berücksichtigung der Betriebsgrößen zu Zahlenwerten, die über das Ausmass der Gesamtverunreinigung eines Abwassers Auskunft geben. Bezüglich des Geltungsbereichs liegt keine Beschränkung vor. Prinzipiell lassen sich sämtliche Abwässer auf diese Weise bewerten. Doch wurde bereits auf Schwierigkeiten bei der Ermittlung der gesuchten Zahlenwerte hingewiesen. Für den Wasserfachmann sind die Beiwerte zur Lösung seiner Aufgabe nur dann verwertbar, wenn es sich um vergärbare,

organische Verunreinigungen handelt. Sofern aber Abwassergemische mit Stoffen anorganischer und organischer Natur vorliegen, lassen sich die Beiwerte nicht mehr für wissenschaftlich-technische Berechnungen und Schlussfolgerungen verwenden, da im Zahlenwert sowohl die Menge der vergärbaren Stoffe als auch die Schädlichkeit einer Säure oder eines Giftes sowie weitere Eigenschaften des betreffenden Abwassers ausgedrückt werden. Die Bedeutung der Beiwerte ist deshalb noch näher zu erläutern. Die Liste der Beiwerte wurde als verwaltungsinternes Hilfsmittel bei den Abwasserverbänden aufgestellt, um das Ausmass der Verunreinigung des Abwassers zahlenmässig anzugeben und auf Grund dieser Bewertung die Höhe der Mitgliederbeiträge gerecht ansetzen zu können. Es ist festzuhalten, dass es sich dabei um eine grundsätzlich andere Bewertungsart handelt, als wenn der BSB₅ oder eine andere Messgrösse zugrunde gelegt wird. Die Zielsetzung der Abwasserverbände ist, eine Wertskala für administrative Zwecke zu erhalten. Auf die allgemeine Gültigkeit wurde mehr Gewicht gelegt als auf das Postulat, dass die Werte für rechnerische Auswertungen anwendbar sein sollen. Aus diesen Gründen lassen sich die Beiwerte von gemischten Abwässern für Berechnungen in Limnologie und Abwassertechnik nicht verwenden. Andererseits sind die auf dem biochemischen Sauerstoffbedarf gegründeten Zahlenwerte für administrative Zwecke oft ungeeignet, weil sie zuwenig umfassend sind. Daraus folgt, dass beide Bewertungsarten, je nach der Zielsetzung, ihre Berechtigung haben.

Die Methode von BUCKSTEEG und Mitarbeitern zur experimentellen Bestimmung der Beiwerte ist klar umschrieben und lässt sich relativ leicht vornehmen. Es stellt sich aber die Frage, welche Bedeutung den ermittelten Zahlenwerten zukommt. Soweit auf Grund der bis jetzt vorliegenden Ergebnisse festgestellt werden kann, handelt es sich bei dieser Arbeitsmethode eher um die Ergänzung der Liste für administrative Zwecke als um die Entwicklung eines Verfahrens zur Bearbeitung limnologischer und abwassertechnischer Probleme.

Über die bei der BSB₅-Bestimmung nicht erfassbaren Abwasserstoffe sei noch folgendes gesagt: Die Bewertung von Abwässern ist vor allem dort von Interesse, wo Gemische verschiedenartiger Abwässer zusammenfliessen und gemeinsam gereinigt werden, d. h. bei Kanalisationsabflüssen grösserer Wohn- und Industriegebiete. Industrielle Abwässer mit erheblichen Anteilen an freier Säure, an Metallsalzen, an Giftstoffen und weiteren, vorwiegend anorganischen Substanzen werden in der Regel am Orte des Auftretens der betreffenden Stoffe einer Behandlung unterwor-

fen. Neutralisationen, Entgiftungen oder die Entfernung irgendwelcher störender Stoffe sind in besonderen Anlagen, in sogenannten Vorreinigungsanlagen, innerbetrieblich vorzunehmen. Auf diese Weise ist es möglich, die in Frage stehenden störenden Stoffe von der zentralen Kläranlage weitgehend fernzuhalten. In Sammelreinigungsanlagen sind deshalb die vergärbaren, organischen Stoffe als Hauptanteil an der Gesamtverschmutzung zu bezeichnen. Die auf dem biochemischen Sauerstoffbedarf gegründete Bewertung bei Kanalisationsabflüssen grösserer Einzugsgebiete hat somit ihre Berechtigung. Wo es sich aber um die spezielle Behandlung besonders zusammengesetzter Abwässer handelt, tritt die Frage der Bewertung gegenüber der gründlichen chemischen Analyse in den Hintergrund.

Gelegentlich werden in Zusammenstellungen über Industrieabwasserhältnisse neben dem auf den biochemischen Sauerstoffbedarf bezogenen Einwohnergleichwert auch noch die auf die Abwassertagesmenge und den Schlammtagesanfall bezogenen Einwohnergleichwerte aufgeführt. Ein Betrieb wird also mit drei qualitativ verschiedenen, im Ausmass meist verschieden hohen Einwohnergleichwerten bemessen. Da bei derartigen Angaben die Anschaulichkeit, besonders für den Nichtfachmann, erschwert wird, sei empfohlen, nur den auf den BSB₅ bezogenen Einwohnergleichwert einzusetzen, im übrigen aber den Abwasserabfluss in m³/Tag, bzw. den Schlammfall in l/Tag anzugeben.

Es ist bekannt, dass in Abwässern Stoffe vorkommen, die weder in Vorreinigungsanlagen noch in mechanisch-biologischen Reinigungsanlagen hinreichend entfernt werden, die sich aber für den Vorfluter nachteilig auswirken können. Je nach der Entwicklung der Verhältnisse dürfte es in Zukunft notwendig sein, neue Bewertungsgrundlagen auszuarbeiten, welche für die Beurteilung der durch diese Stoffe hervorgerufenen Auswirkungen von Interesse sein werden. Eine Entwicklung der Bewertungsfrage in diesem Sinne halten wir für wünschenswert.

Zusammenfassung

Die Grundlagen, der Geltungsbereich und die Anwendungsmöglichkeiten einiger Systeme für die Abwasserbewertung werden diskutiert.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1] K. IMHOFF, *Taschenbuch der Stadtentwässerung* (Oldenbourg-Verlag, München 1960).

- [2] K. IMHOFF, *Die Sauerstofflinie in verschmutzten Gewässern*, Die Wasserwirtschaft 1941, 338.
- [3] H. LÜSSEM, *Kritische Untersuchungen über den biologischen Sauerstoffwert häuslichen Abwassers*, Vom Wasser 22, 275 (1955).
- [4] F. MEINCK, *Über den Einwohnergleichwert industrieller Abwässer*, Ges.-Ing. 76, H. 15/16 (1955).
- [5] H. WAGNER, *Die Bewertung von Abwassereinleitungen*, Ges.-Ing. 71, 73 (1950).
- [6] H. WAGNER, *Über den Begriff der Einwohnergleichwerte und Schmutzbeiwerte*, Band 6 der Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, «Die Bewertung der Wasserqualität» (Verlag Oldenbourg, München 1959).
- [7] W. BUCKSTEEG, *Problematik der Bewertung giftiger Inhaltsstoffe im Abwasser und Möglichkeiten zur Schaffung gesicherter Bewertungsgrundlagen*, Band 6 der Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, «Die Bewertung der Wasserqualität» (Verlag Oldenbourg, München 1959).
- [8] W. BUCKSTEEG und H. THIELE, *Möglichkeiten zur experimentellen Ermittlung der Einwohnergleichwerte für industrielle Abwässer*, Gas- und Wasserfach 98, H. 36 (1957).