

Sonderdruck: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Saarbrücken 1973.

KRITISCHE BETRACHTUNGEN ZUR AUSSAGEFÄHIGKEIT DER CHEMISCHEN UND PHYSIKALISCHEN WASSERANALYSE EINES FLIESSGEWÄSSERS

G. HILDENBRAND

Abstract

2860 separate measurement results of a chemical-physical nature were attained at 10 selected measuring points from the water of the "Pfinz river" in the Karlsruhe area at 13 different times. A regression analysis linked with various statistical test procedures produced correlations which could be made between the separate quantities measured.

A comparison of the chemical findings with the biological quality, showed, however, that a chemical analysis of the water cannot replace the biological grading of its quality, rather can only complement it in the case of a more concentrated series of tests and with the eliminations of all results arrived at by chance

1. Einleitung

Am Beispiel eines Fließgewässers sollte geprüft werden, ob sich dessen Gütezustand mit Hilfe von physikalischen und chemischen Messwerten darstellen lässt bzw. ob die gewonnenen Ergebnisse die biologische Güteeinstufung ersetzen oder nur ergänzen können.

Zur Klärung dieser Frage wurde ein Fließgewässer – in unserem Beispiel die Pfinz bei Karlsruhe – ausgewählt, das vielseitigen und wechselnden Einflüssen unterliegt. So ändert sich z.B. von der Quelle bis zur Mündung in den Rhein die geologische Zusammensetzung des durchflossenen Gebietes und des Einzugsgebietes der Nebenbäche; weiterhin ändert sich die Menge und Zusammensetzung des eingeleiteten Abwassers in Abhängigkeit von der Besiedlungsdichte und der Art der ansässigen Industrie. Wehranlagen, Turbinendurchgänge, Stauhaltungen etc. bedingen eine unterschiedliche Sauerstoffversorgung.

An geeigneten Abschnitten kann modellhaft die Störung des ökologischen Gleichgewichtes durch Flussbegradigungen, Bachbettauspflasterungen und Bachabschlägen festgestellt werden.

Zur Entnahme der chemischen und biologischen Proben wurden 10 Messstellen ausgewählt, von welchen 5 am Hauptfluss Pfinz, und 5 an Nebenbächen liegen, die durch eine konstante Wasserführung mit wechselnder Zusammensetzung die Qualität des Pfinzwassers wesentlich beeinflussen.

Bei der Auswahl der Messstellen wurden folgende Gesichtspunkte berücksichtigt: a. der Grad der Belastung in Abhängigkeit von der Besiedlung, der landwirtschaftlichen Nutzung und Industrialisierung des betreffenden Gebietes, b. der Einfluss von Nebenbächen auf die Qualität des Hauptgewässers Pfinz, c. die Beschaffenheit des Flussbettes als Funktion der Wasserführung und der Fließgeschwindigkeit, d. der Einfluss von Flussregulierungen und Stauhaltungen für gewerbliche Nutzung, e. die Ufer- und Wasserpflanzenbestände in den verschiedenen Flussabschnitten, f. die Zusammensetzung des Substrats, g. der Einfluss der geologischen Formation des durchflossenen Gebietes.

2. Auswahl der Messgrößen und Durchführung der entsprechenden Messungen

Zur chemischen Charakterisierung des untersuchten Fließgewässers wurden folgende Daten quantitativ erfasst:

pH-Wert	Cl^-
Gesamthärte	SO_4^{2-}
Carbonathärte	NH_3
Nichtcarbonathärte	NO_2^-
Salzsäurebindungsvermögen	NO_3^-
Gebundene Kohlensäure	P_2O_5
Zugehörig freie Kohlensäure	A-Tenside
Titrimetrische freie Kohlensäure	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$
Kalkangreifende Kohlensäure	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$
Permanganatzahl	
Sauerstoff ₀	
Sauerstoff ₄₈ (BSB ₂)	
Sauerstoffzehrung	

Die einzelnen Bestimmungsverfahren wurden nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

- dass die einzelnen Wasserproben in möglichst kurzer Zeit analysiert werden konnten,
- dass gegenseitige Störeinflüsse durch die Untersuchungsmethode weitgehend eliminiert wurden,
- dass eine sinnvolle Genauigkeit der Ergebnisse erreicht wurde.

Aus diesem Grunde wurden die Titration, die komplexometrische Titration und die Photometrie benutzt. Für die photometrischen Messungen erwies sich das Photometer Coleman Junior II 6/20 als sehr geeignet, da es sich mit eigens dafür hergestellten Testlösungen relativ leicht eichen bzw. nacheichen lässt und die Eichkonstanz über einen längeren Zeitraum gewährleistet wird.

3. Die statistische Auswertung der Messergebnisse:

Von den erwähnten Größen wurden an 10 Messstellen zu 13 verschiedenen Zeitpunkten innerhalb von 12 Monaten die Messwerte ermittelt. Dies ergibt 2860 Einzelmesswerte, die auf eine funktionelle Beziehung untersucht werden mussten. So wurde z.B. gefragt, ob zwischen dem NO_2^- - und dem NO_3^- -Gehalt eine funktionelle Beziehung besteht.

Mit der Art des Zusammenhanges beschäftigt sich die Regressionsanalyse, während der Grad des Zusammenhanges durch den Korrelationskoeffizienten r angegeben wird. Bei der Korrelationsanalyse, bei welcher die Abhängigkeit zweier zufälliger Variablen untersucht wird, geht man von der Voraussetzung aus, dass die beiden Variablen x und y eine zweidimensionale Normalverteilung haben. Ihre Wahrscheinlichkeitsdichte $W(x/y)$ ist gegeben durch:

$$W(x/y) = \frac{1}{2 \pi \sigma_x \sigma_y \sqrt{1 - \xi^2}} e^{-\frac{1}{2(1 - \xi^2)}} []$$

$$\text{mit } [] = \left[\left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 - 2\xi \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \frac{y - \mu_y}{\sigma_y} + \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right]$$

Diese Beziehung enthält die 5 Parameter $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$ und ξ , wobei μ_x und μ_y Mittelwerte, σ_x und σ_y die Standardabweichungen darstellen. Der Parameter ξ – als Masszahl einer Stichprobe r genannt – heisst Korrelationskoeffizient. Er kann die Werte $-1 \leq r \leq +1$ annehmen.

$r = \pm 1$ heisst, die Abhängigkeit ist vollständig, die Wertepaare (x_i/y_i) liegen auf einer Geraden. Das Vorzeichen von r gibt an:

$r > 0$: grosse y_i -Werte sind mit grossen x_i -Werten,

$r < 0$: kleine y_i -Werte sind mit kleinen x_i -Werten verbunden,

$r = 0$: negative Korrelation.

Bei den chemischen Daten einer Wasseranalyse handelt es sich in den meisten Fällen um **stochastische** und nicht um mathematische Zusammenhänge. Zwischen zwei Variablen, z.B. dem NO_2^- - und NO_3^- -Gehalt besteht eine durch die Existenz zufälliger Variabler charakterisierte **stochastische** Beziehung mit einer bestimmten Streubreite, weil Schwankungen zufälliger Art, wie z.B. der O_2 -Gehalt, der NH_3 -Gehalt, die Grösse der entsprechenden Redox-potentiale, der pH-Wert etc. eine Streuung der Werte verursachen. Der Naturwissenschaftler verwendet zur Charakterisierung des Grades der Abhängigkeit die beiden Regressionsgeraden $y = f_1(x)$ bzw. $x = f_2(y)$. Der Korrelationskoeffizient r steht mit den Regressionskoeffizienten in folgendem Zusammenhang:

$r = \sqrt{b_{xy} \cdot b_{yx}}$, wobei b_{xy} bzw. b_{yx} die Steigung der Regressionsgeraden angibt,

oder $r = b_{yx} \frac{s_x}{s_y}$, wobei s_x und s_y die Standardabweichungen darstellen.

Da die Standardabweichungen beide positiv sind, zeigt diese Beziehung, dass r und b das gleiche Vorzeichen haben müssen. Zeigen beide Variablen die gleiche Variabilität, d.h. ist $s_x = s_y$, dann ist $b_{xy} = b_{yx}$. $r^2 = b_{xy} \cdot b_{yx} = B$ wird als Bestimmtheitsmass B bezeichnet. z.B.: $B = 0,72$, dann lassen sich 72 % der Gesamtstreuung aus der Veränderung von x durch lineare Regression erklären. Zur Ermittlung des Regressionskoeffizienten r und der Regressionsgeraden gibt es verschiedene Schätzverfahren, auf welche ich hier nicht näher eingehen kann. Die Frage nach dem Vorhandensein einer Korrelation, d.h. ob der in einer Stichprobe gefundene Korrelationskoeffizient eine Zufallsabweichung von der Korrelation Null in der Grundgesamtheit sein kann, kann durch verschiedene Testverfahren beantwortet werden. Ich habe meine Werte der t-Verteilung

$$t = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (n-2) \text{ Freiheitsgrade}$$

und der F-Verteilung

$$F = \frac{r^2 (n-2)}{1-r^2}$$

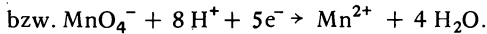
unterworfen.

Unerlässlich ist jedoch die **z-Transformation** bei allen Untersuchungen, bei welchen die Anzahl der Beobachtungspaare relativ klein, deren Absolutwert von Fall zu Fall jedoch hoch ist. Der Korrelationskoeffizient r , der sich signifikant von Null unterscheidet, weicht in seiner Verteilung aus diesem Grunde stärker von der Normalverteilung ab. Durch die z-Transformation nach Fischer wird die Verteilung von r approximativ normalisiert. Es ist $z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}$ mit der Standardabweichung $s_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$. Das ursprüngliche Intervall $-1 \leq r \leq +1$ wird dadurch auf $-\infty \leq z \leq +\infty$ geweitet. Die Signifikanz des Korrelationskoeffizienten lässt sich nach $z = \frac{z}{s_z} = \hat{z} (n-3)$ überprüfen. Die Vertrauensgrenzen von r liegen mit einer statistischen Sicherheit von 95 % bei $\hat{z} \pm 1,960 s_z$.

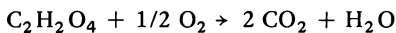
4. Die kritische Betrachtung der Aussagefähigkeit folgender Messgrößen

4.1: Die $KMnO_4$ -Zahl:

Zur Bestimmung der im Wasser gelösten bzw. suspendierten organischen oxidierbaren Stoffe gibt es bekanntlich noch keine einheitliche Methode. Eine indirekte Bestimmung beruht auf der Ermittlung des Reduktionsvermögens gegenüber einer eingestellten Lösung von $KMnO_4$ in saurem Medium gemäss der Reaktion



Nach der Methode von Kubel - Tiemann und Ohlmüller - Spitta - Olszewski wird Oxalsäure als Vergleichssubstanz zu CO_2 und H_2O vollständig oxidiert.



Man nimmt nun an, dass die meisten organischen Verbindungen ähnlich wie die Oxalsäure vollständig oxidiert werden, so dass der Verbrauch einer auf Oxalsäurelösung bekannten Titergehaltes eingestellten Kaliumpermanganatlösung ein direktes Mass für die Menge der oxidierfähigen organischen Substanz sei. Bei einem Fliessgewässer mit laufend sich ändernder Belastung besagt die $KMnO_4$ -Zahl relativ wenig, da die einzelnen Substanzen einen sehr unterschiedlichen $KMnO_4$ -Verbrauch aufweisen, wie folgende Beispiele zeigen:

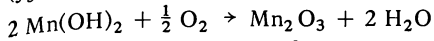
Substanz (g/l)	mg $KMnO_4$ /l
Phenole	10 000
Kresole	6 200
Saccharose	2 700
Dextrine	850
Pyridin	100
Harnstoff	6

Die $KMnO_4$ -Zahl kann bei Reihenuntersuchungen nur dann als Masszahl herangezogen werden, wenn 1.) die qualitative und quantitative Zusammensetzung aller oxidierbaren Stoffe an den einzelnen Messstellen bekannt ist und 2.) diese Zusammensetzung sich als eine **Verhältniskonstante** während des Untersuchungszeitraumes erweist. Zur Kontrolle nahm ich einige Elementaranalysen der verbrennbaren organischen Substanz vor. Dabei zeigte sich, dass die $KMnO_4$ -Zahl um ca 15-20% höher liegen musste. Aus der geringen Schwankungsbreite kann mit Einschränkung gefol-

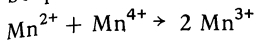
gert werden, dass die organische Substanz in fester Form (suspendiert) eine relativ konstante Zusammensetzung besitzt.

4.2: Sauerstoffgehalt O_0 :

Der Sauerstoffgehalt wurde als Mangano-Manganit gefällt und als Trijodid-Komplex (J_3^-) photometriert.



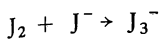
bei $\text{pH} < 1,5$ entstehen Mn^{3+} -Ionen



mit einem Redox-Potential



Diese vermögen Jodide leicht zu oxidieren, wobei sich gebildetes Jod unter Bildung des J_3^- -Komplexes löst.



Dieser J_3^- -Komplex absorbiert bei $\text{Hg} = 436 \text{ nm}$, vorausgesetzt, dass die Messung innerhalb von 3 Min. erfolgt, so dass der J_3^- -Komplex nicht zerfallen kann.

Die Bildung des sauerstoffäquivalenten Trijodidkomplexes wird durch starke Reduktionsmittel, wie z.B. Hydrazin gestört, d.h. das entsprechende Jodäquivalent wird nicht gebildet. Nun zeigt die Spannungsreihe der Nichtmetalle, dass in Abhängigkeit vom pH-Wert das Redox-Potential von 1,488 V unterschritten werden kann, so dass die Bildung von Mn^{3+} Ionen unterbleibt. Es ist also bei allen vergleichenden Sauerstoffmessungen darauf zu achten, dass

a. der pH-Wert $< 1,5$ ist

b. das Redox-Potential von 1,488 V erreicht wird, indem starke Reduktionsmittel zerstört bzw. entfernt werden.

4.3: Sauerstoff $_{48} = \text{BSB}_2$

Man versteht darunter die Abnahme des Sauerstoffgehaltes nach 48 Stunden. Die Sauerstoffzehrung stellt ein Mass für die Konzentration der vorhandenen, durch Mikroorganismen, abbaufähigen organischen Substanz dar.

Der Arbeitsvorschrift entsprechend wird der O_{48} -Gehalt wie O_0 bestimmt. Es ist dabei darauf zu achten, dass der Rest-sauerstoffgehalt nicht unter 2 mg/l sinkt, da unterhalb dieser Grenze die biologische Sauerstoffzehrung stockt. Durch Verdünnen mit O_2 -haltigem H_2O kann dem entgegengewirkt werden.

Nun haben Testversuche gezeigt, dass während der 48-stündigen Verweildauer des zu untersuchenden Wassers auch im Dunkeln chemische Prozesse ablaufen können, die den Sauerstoffgehalt zusätzlich vermindern.

So werden z.B. Fe^{2+} -Ionen zu Fe^{3+} -Ionen oxidiert und als Fe(OH)O bzw. Fe_2O_3 ausgefällt. Ähnliche Oxidationsprozesse laufen mit H_2S , NO_2^- und NH_3 ab.

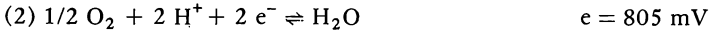
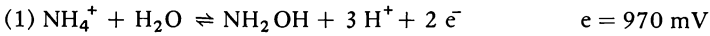
Bei stark eisen- und manganhaltigen Wässern haben wir versucht, das Eisen bzw. Mangan als Phosphat zu binden, um genauere Werte für O_{48} zu erhalten.

Bei hohen NH_3 und CH_4 -Gehalten wurde die Wasserprobe bei Unterdruck (< 10 Torr) entlüftet, oxidierfähige Gase konnten entweichen. Beide Methoden sind jedoch unvollständig und es bleibt noch die Frage offen, inwieweit durch das Entfernen einzelner Komponenten die wirkliche Redox-Reaktion zum Abbau der org.

Substanz gestört wird, zumal einzelne Bestandteile wie MnO_2 und Fe^{2+} bzw. S^{2-} katalytisch wirken können.

4.4: NO_3^-

Das Nitration wird analytisch als Nitrition durch Reduktion mittels Zn-Staub im alkalischen Medium erfasst und als Sulfanilsäureazo- α -naphthylamin photometriert. Ursache des Nitratgehaltes ist neben der direkten Einschwemmung von nitrat-haltigen Düngemitteln vor allem das Einleiten von häuslichen und landwirtschaftlichen Abwässern. In einem gut durchlüfteten Fließgewässer wird das Ammoniak direkt zur Stufe des Nitrations oxidiert. Da keine höheren Energiequellen als das Oxidationspotential des Sauerstoffs zur Verfügung stehen, kann sich kein Hydroxylamin NH_2OH bilden.



Bei der Auswertung der chemischen Messwerte stellt sich nun das Problem, die Frage nach der Herkunft der Nitrationen zu klären.

Eine Differenzierung zwischen eingetragenen Nitration und gebildetem Nitration ist nur durch eine verdichtete Messfolge zu verschiedenen Jahreszeiten unter genauer Beachtung der Lage der Messstelle möglich.

So konnte ich feststellen, dass ein sprunghafter Anstieg des NO_3^- -Gehaltes an bestimmten Messstellen – ohne Veränderung der $NH_3 - NO_2^-$ -Relation – stets unter gleichen äusseren Umständen stattfand, z.B. zur Frühjahrszeit nach starken Regenfällen im Einzugsgebiet der Weideflächen. Durch Befragung der Eigentümer dieser Weiden konnte ich feststellen, dass sie diese Nitrate als Schnelldünger verwendeten, die bei starkem Regen in die Pflanz eingeschwemmt wurden und den NO_3^- -Gehalt um ein Vielfaches erhöhten. Diese stossweisen, kurzzeitigen Erhöhungen konnten keinen schädigenden Einfluss ausüben und müssen bei der chem. Güteinstufung eliminiert werden.

Will man durch die Bestimmung des Ammoniakgehaltes eine verbindliche Aussage über den tatsächlichen Ammoniakgehalt machen, so muss man gleichzeitig den Existenzbereich des Säure-Base-Paares NH_4^+/NH_3 betrachten. Dieser Existenzbereich ist stark pH-abhängig und wird zudem durch die mechanische Entgasung des Wassers infolge Wehrüberläufe und Turbinendurchgänge beeinflusst. Die Abhängigkeit vom pH-Wert ergibt sich aus der Beziehung:

$$pH = pK_s + \log \frac{(A^-)}{(HA)}$$

die sich als "Pufferungskurve" graphisch darstellen lässt. So existiert das Säure-Base-Paar NH_4^+/NH_3 bei $pH = 6$ zu 100 % als NH_4^+ . Um diese NH_4^+ -Ionen vollständig in NH_3 überzuführen, müsste das pH auf 12 erhöht werden. Bei obiger Arbeitsvorschrift wird bei pH-Werten > 12 der Stickstoff in seiner Oxidationsstufe von -3 als NH_3 erfasst. Die ermittelten NH_3 -Werte müssen nun in allen Einzelfällen auf Grund der vorliegenden pH-Werte und der Pufferungskurve NH_4^+/NH_3 auf den tatsächlichen NH_3 -Wert reduziert werden. Es genügt also nicht, die analytisch ermittelten NH_3 -Werte als Kriterium für eine Belastung durch häusliche Abwässer anzugeben, zumal in schwach sauren Fließgewässern praktisch kein freies NH_3 existieren kann.

In schwach alkalischen Abwässern – verursacht durch waschaktive Substanzen –

liegt das Gleichgewicht zu 100 % auf der NH_3 -Seite. Durch mechanische Entlüftung, z.B. infolge des Sprüheffektes bei Wehrüberfällen und Turbinenturbulenz wird ein erheblicher Teil des NH_3 an die Luft abgegeben und verliert so seine schädliche Wirkung.

4.5: Anionaktive Tenside:

Weil die Zusammensetzung der Vielfalt der heute verwendeten anionaktiven Tenside analytisch nicht zu bestimmen ist, wird der Gesamtgehalt der anionaktiven Tenside auf Tetrapropylenbenzolsulfonat (TBS) bezogen und mit Hilfe von Methylenblau als kationaktive Substanz in Form eines blauen Komplexes photometriert. Die im Vorfluter der häuslichen Abwässer festgestellten Konzentrationen an anionaktiven Substanzen liegen aus folgenden Gründen wesentlich niedriger als die Konzentrationen im häuslichen Abwasser:

1. Industrielle Abwässer enthalten vorwiegend kationaktive Tenside, z.B. des Zephirolyttypus, und bilden mit den A-Tensiden unlösliche Verbindungen.
2. In saurem Medium werden A-Tenside auf Seifenbasis als unlösliche, höhere Fettsäuren ausgefällt.
3. Durch harte Wässer werden anionaktive Seifenanionen als unlösliche Ca^{2+} bzw. Mg^{2+} -Salze ausgefällt.
4. Infolge der Ausbildung bipolarer Grenzflächenfilme werden die Tenside bei Turbulenz aufgeschäumt und somit ihrer Lösung im Wasser entzogen.
5. Ton- und lehmhaltige Oberflächengewässer enthalten $\text{Al}(\text{OH})_3$ als amphoten Elektrolyte und wirken ausflockend auf A-Tenside. Ähnlich wirken hydratisierte Fe^{3+} -Ionen. Es kann angenommen werden, dass nach diesem Mechanismus bis zu 70 % der A-Tenside bereits in den Tropfkörpern der Klärwerke sedimentiert werden.

Diese Möglichkeiten der Beeinflussung des ursprünglichen Tensidgehaltes zeigen, dass die an einer Messstelle ermittelte Konzentration keine Rückschlüsse über die Verteilung auf weitere Flussabschnitte zulässt.

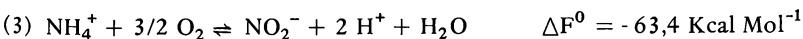
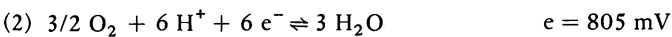
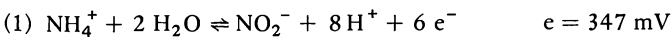
5. Die Korrelation einiger Messgrößen:

5.1: $\text{NH}_3\text{-NO}_2^-$:

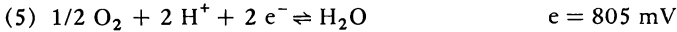
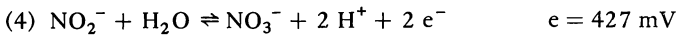
Für alle Messstellen ergaben sich für obige Korrelation hoch signifikante z-Werte.

In aeroben, nicht photosynthetisierenden Systemen – wie es für die meisten Abschnitte der Pflanz zutrifft – wird bei einem hohen NH_3 -Gehalt als einziges Zwischenprodukt zwischen der Oxidationsstufe des Ammoniumions und der des Nitrations, das sich unter Umständen akkumulieren kann, lediglich das Nitrition festgestellt. Der zur Oxidation erforderliche Sauerstoffgehalt ist bei diesem Fließgewässer infolge guter Durchlüftung vorhanden. Bei dem Zweistufenmechanismus der Nitrifikation ist jeweils eine Bakteriengattung beteiligt.

Nitrosomonas:



Nitrobacter:



Beide Vorgänge verlaufen exergonisch und bewirken, dass bei ausreichender O₂-Versorgung das NH₃ in relativ kurzer Zeit vorwiegend über NO₂⁻ zu NO₃⁻ oxidiert wird.

5.2: NH₃-P₂O₅:

z-Werte mit hoher Signifikanz ergaben sich für alle Untersuchungsstrecken, welche mit häuslichen Abwässern direkt oder indirekt belastet werden. Beide Wasserinhaltsstoffe sind im Zusammenwirken mit Kalium verantwortlich für eine überhöhte Produktion des Phytoplanktons, sofern eine ausreichende Lichtintensität zur Verfügung steht. Kontrollmessungen ergaben, dass der P₂O₅-Gehalt von Freitagnacht bis Montagmorgen bis zum 15-fachen seines Mittelwertes anstieg. Gleichzeitig konnte zu dieser Zeit an den Wehrüberläufen eine verstärkte Schaumbildung festgestellt werden. Ursache dafür ist, dass an den Wochenenden von den berufstätigen Hausfrauen gewaschen wird. In Übereinstimmung mit SCHMASSMANN & KOHLER konnte ich feststellen, dass der P₂O₅-Gehalt innerhalb eines Tages nur geringen Schwankungen unterworfen ist, während die Beeinflussung durch die entwässernden Ortschaften sehr gross ist.

So betrug der P₂O₅-Gehalt in den abwasserfreien Strecken im Mittel 1,32 mg/l, nach der Entwässerung von Einzelgehöften stieg er auf 5,31 mg/l und erreichte nach der Einleitung der Dorfkanalisation 16,09 mg/l. Die Abwässer der vorhandenen Kläranlagen enthielten nur 5,04 mg/l als Mittelwert.

Schwankende NH₃-Konzentrationen konnten besonders nach starken Regenfällen festgestellt werden. Die starken Anstiege sind auf bei Regenfällen überlaufende Hauskläranlagen zurückzuführen. An diesen Zeitpunkten extremer Belastung durch P₂O₅, A-Tenside und NH₃ konnte ich feststellen, dass die NH₃-Konzentration sich nur langsam durch Oxidation zu NO₂⁻ bzw. NO₃⁻ abbaut. Verantwortlich dafür dürfte die Ausbildung von Oberflächenfilmen durch Tenside sein, welche die Zufuhr von O₂ hemmen. Gleichzeitig zeigte auch der Phosphattransport wesentlich längere Strecken, da das Eisen bei O₂-Mangel als Fe²⁺ vorliegt, das keine Phosphationen zu binden vermag.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die chemische und physikalische Wasseranalyse den Gütezustand eines fliessgewässers nur als Momentanzustand darzustellen vermag. Daraus kann nicht auf den Dauerzustand geschlossen werden. Dieser kann nur durch eine biologische Wasseranalyse erfasst werden. Verdichtete Messreihen können nach Ausschalten aller Unsicherheitsfaktoren die biologische GüteEinstufung ergänzen und die Ursachen extremer Abweichungen vom Dauerzustand erklären.

LITERATUR

- KOHLER, A. (1971): Zur Ökologie submerser Gefäß-Makrophyten in Fliessgewässern. *Ber. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 84* (11).
- SCHMASSMANN, H. (1951): Untersuchungen über den Stoffhaushalt fliessender Gewässer. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 13.

Anschrift des Verfassers:

Prof. GEBHARD HILDENBRAND, Pädagogische Hochschule,
75 Karlsruhe, Bismarckstr. 10.