

ZUR PHOSPHATBELASTUNG VON RHEIN UND MOSEL

Mit 7 Abbildungen und 3 Tabellen

HUBERT HELLMANN und MANFRED SCHUMACHER

Summary: Concerning the phosphate load of the Rhine and Moselle

The phosphate load of German surface waters increased greatly over the period 1962–1973. Taking the middle Rhine and Moselle as examples, the hydrological interpretation and evaluation of measurement results are discussed with particular emphasis on the problem of the origin of loads and of the trend. Prognoses are made possible with the help of EDV.

An der Höhe der Phosphatfrachten kann man das Ausmaß von Abwassereinleitungen ablesen. Dies ist jedoch nicht immer leicht! Um die z. T. komplexen Zusammenhänge zwischen den Analysenbefunden und der aktuellen und potentiellen Phosphat-Fracht, zwischen den verschiedenen P-Bindungsformen etc. zu erkennen, um weiterhin zwischen unterschiedlichen Entnahmestellen des gleiches Flusses oder zwischen Ergebnissen von unterschiedlichen Flußsystemen vergleichen zu können, sind bestimmte gewässerkundliche Auswertetechniken notwendig. Bei der Fülle der Einzelheiten muß der Stoff im wesentlichen auf das gelöste o-PO_4 -Ion beschränkt werden.

Phosphate stellen nach wie vor eine besonders auffällige und universelle Gewässerbelastung dar, und nicht ohne Grund stehen sie im Mittelpunkt zahlreicher wasserwirtschaftlicher Tagungen¹⁾. Sie sind außerdem analytisch relativ einfach zu bestimmen. Es bereitet also keine Schwierigkeiten, viele Analysenergebnisse zusammenzutragen. Nun genügt dieses Zusammentragen nicht, und irgend einmal möchte man Konkretes über die Phosphatfrachten, ihre Herkunft und ihre Bedeutung für das Gewässer erfahren.

Im Grunde ist die „Auswertung“ von Analyseergebnissen in der Wasserwirtschaft so alt wie die Wasserwirtschaft selbst. Im Einzelfall können jedoch über das scheinbar Selbstverständliche hinaus allerlei Fragen auftauchen. So nach der Relevanz von Meßergebnissen, der Spezifität der Bestimmungsmethode und möglichen Analysefehlern – s. auch DOERFEL (1962). Bei Fließgewässern kommt zur allgemein bekannten statistischen Auswertung – DINKLOH (1975) – die spezifisch gewässerkundliche Darstellung, die im wesentlichen von SCHROEDER (1950) grundgelegt wurde. Nur eine fachgerechte gewässerkundliche Auswertung liefert „richtige“ Aussagen.

Wir gehen wohl nicht fehl in der Annahme, daß gewässerkundliche Betrachtungsweisen nicht gerade allgemein bekannt sind. Aus diesem Grunde liegt hier der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen. Die analytischen Unterlagen entstammen dem Datenbanksystem der Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Analytische Vorbemerkungen

Das Phosphat erscheint hauptsächlich in drei Bindungsformen: als gelöstes ortho-Phosphat (o-PO_4), als gelöstes organisches Phosphat und als ungelöstes Phosphat. Dies gilt jedenfalls für unsere verunreinigten Fließgewässer. Zur umfassenden Beschreibung der Phosphatbelastung genügt die Ermittlung der o-PO_4 -Gehalte also nicht. Sie genügt schon deswegen nicht, weil die Selbstreinigungsvorgänge im Fluß Übergänge zwischen den genannten Bindungsarten verursachen, die allerdings bevorzugt o-PO_4 in organische und ungelöste Phosphate überführen. Damit ist auch die Problematik von Vergleichen angedeutet, die etwa das Flußsystem A dem System B gegenüberstellen und die nur das o-PO_4 berücksichtigen. Andererseits kann bei festliegender Entnahmestelle durchaus das Verhalten des o-PO_4 -Ions in aufeinanderfolgenden Jahren studiert werden, und es lassen sich zutreffende, allgemeingültige Schlußfolgerungen daraus ziehen. Wir werden uns in diesem Sinn zunächst auf das ortho-Phosphat beschränken.

Phosphatfracht und Herkunft

Für die Höhe der Belastung nicht nur des Rheins, sondern der Fließgewässer allgemein, ist nicht so sehr die Stoff-Konzentration, sondern die Stoff-Fracht als Produkt aus Konzentration und Abfluß maßgebend. Nur die Fracht läßt Rückschlüsse auf die eingeleiteten Phosphatmengen zu, oder den Vergleich zwischen verschiedenen Gewässern. Allerdings ist die unmittelbar gemessene Größe die Konzentration. Bei kleinen Flüssen ist es wegen der mehr oder weniger großen Konzentrationsschwankungen unumgänglich, die Tagesfracht aus zahlreichen Einzelmessungen zusammensetzen, oder aber von einer 24stündigen Mischprobe auszugehen – vorausgesetzt wird dabei ein gleichbleibender Abfluß. Im Falle des Mittelrheins und der unteren Mosel ist u. E. eine tägliche Stichprobenentnahme ausreichend, wie die Meßwerte in Tab. 1 genügend belegen.

¹⁾ Aus der nahezu unübersehbaren Fachliteratur verweisen wir auf *Europäische Studiengesellschaft* (1974).

Tabelle 1: o-PO₄-Konzentration im Rhein bei Koblenz/ Braubach am 2. 4. 1975

o-PO₄-Concentration in the Rhine river at Koblenz/ Braubach on 2. April 1975

Entnahmezeit	Stoffkonzentration [mg/l] (Doppelbestimmung)	
8.00	1.50	1.50
8.30	1.46	1.47
9.00	1.48	1.50
9.30	1.47	1.47
10.00	1.50	1.51
10.30	1.52	1.52
11.00	1.48	1.49
11.30	1.50	1.50
12.00	1.46	1.46
14.00	1.49	1.48
15.00	1.52	1.51
16.00	1.51	1.50

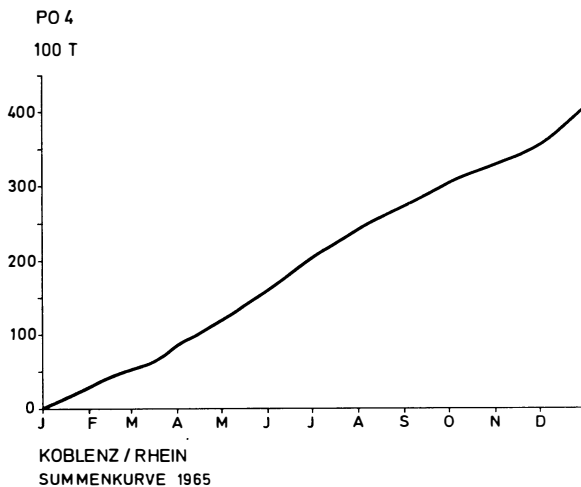


Abb. 1: Jahressummenkurve der o-PO₄-Frachten 1965 im Rhein bei Koblenz

Annual summation curve 1965 of o-PO₄ loads in the Rhine river at Koblenz

Geringere Streuungen gehen mehr auf das Konto der Analytik, als auf Konzentrationsschwankungen im Tagesverlauf zurück²⁾. Von den Tagesfrachten schreitet man zur Berechnung der Jahresfrachten fort, was nach Abb. 1 unsere EDV-Anlage (Calcomp-Plotter 936 – s. auch SCHUMACHER (1975)) besorgte. Diese Jahressummenlinie ist eine der möglichen Auswerteformen:

Hier wurde aus 26 über das Jahr verteilten Meßwerten die Formel für die Ausgleichskurve berechnet, die dann zur Ermittlung der Tagesfrachten diente. Die

²⁾ Das muß nicht überall so sein! Im Rhein bei Stein, nicht weit vom Bodensee entfernt, findet man ausgeprägte jahreszeitliche Schwankungen, die von der Phytoplanktonproduktion abhängen.

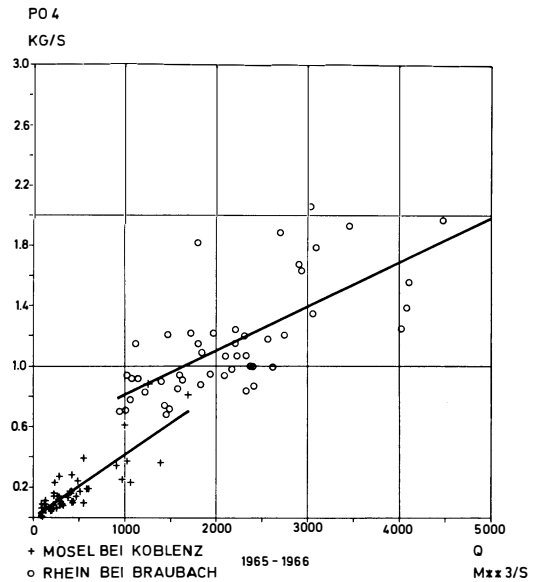


Abb. 2: Änderung der o-PO₄-Frachten mit der Wasserführung 1965/66 im Mittelrhein und in der Mosel

Variation of o-PO₄ loads with discharge 1965/1966 in the Middle Rhine and the Moselle

Jahresfracht liegt demnach im Mittelrhein bei 40 000 t o-PO₄ bzw. 13 000 t P.

Die Zuverlässigkeit der Summenbildung könnte allenfalls dann gemindert werden, wenn die Stichproben mehrere Ausreißer enthalten. Außerdem können Fehler von ± 5% bei der Analyse und bei Abflußmessungen nicht ausgeschlossen werden.

Wird das Fließgewässer das ganze Jahr über gleichmäßig belastet, dann muß die analytisch bestimmte Fracht unabhängig von der jeweiligen Abflußhöhe sein. Dies ist nicht der Fall (Abb. 2). Mittelrhein und untere Mosel führen unterschiedliche Phosphatfrachten, die in beiden Fällen nicht konstant sind, sondern mit dem Abfluß zu- oder abnehmen. In Abb. 2 ist die Ausgleichsgerade eingezeichnet, nachdem drei „Ausreißer“, deren Zustandekommen hier nicht erklärt werden kann, vorher eliminiert wurden.

Die zugehörigen Gleichungen sind für den Mittelrhein (n = 49):

$$(1) F_{PO4} = 0,517 + 0,00029321 \cdot Q,$$

und für die Mosel (n = 51):

$$(2) F_{PO4} = 0,00179 + 0,00041363 \cdot Q,$$

Fracht jeweils in kg/s.

Im ersten Fall gelten für den Korrelationskoeffizient $r = 0,70$, die Standardabweichung $\sigma = 0,26$ und die relative mittlere Abweichung $\sigma_r = 22,9\%$.

Im zweiten Fall (Mosel) erhielten wir für den Korrelationskoeffizienten $r = 0,85$, die Standardabweichung $\sigma = 0,095$ und die relative mittlere Abweichung $\sigma_r = 55,9\%$.

Korrelationen können zur Vorausberechnung der Frachten wie auch zur Ergänzung fehlender Analysendaten bei der Erstellung der Jahressummenlinie z. B. (unter dem Vorbehalt der allgemeinen Gültigkeit und unter Beachtung der jeweiligen Güte der Korrelation) dienen.

In der Wasserwirtschaft ist es von Interesse, die PO₄-Fracht bei ausgewählten Abflüssen, so bei MNQ, MQ und MHQ³⁾ zu kennen. Im Mittelrhein stieg sie in gleicher Reihenfolge von 62,4 auf 83,7 und 146,9 t/d an, in der Mosel gar von 2,36 auf 10,5 und 70,8 t/d (1965/66) – Tab. 2.

Tabelle 2: Änderung der o-PO₄-Fracht mit dem Abfluß (1965/66)

Variation of o-PO₄ load with discharge (1965/1966)

*)	[m ³ /s] [t/d]		Zunahme	[m ³ /s] [t/d]		Zunahme
			[%/o]			[%/o]
MNQ	62	2,36	-	700	62,4	-
MQ	290	10,5	345	1560	83,7	34
MHQ	1980	70,8	2900	4040	146,9	135
	Mosel b. Koblenz			Rhein b. Braubach		

*) Jahresreihe 1931/1960; Jahresfracht bei MQ
Mosel: 3 800 t
Rhein: 30 500 t

Dieses Ergebnis ist im Nachhinein nicht immer leicht zu deuten. Hier sei der Hinweis angebracht, daß beträchtliche Phosphatmengen erst mit steigenden Abflüssen, also als Folge von Niederschlägen, „mobilisiert“ werden bzw. ins Gewässer eingetragen werden. Diesen „sonstigen P-Quellen“ außer der direkten Einleitung mit dem Abwasser ist schwer mit Gesetzmäßigkeiten beizukommen.

Davon abgesehen: die spezifische Steigung der Ausgleichskurven (auch die Höhe der Regressionskoeffizienten) kann die Verhältnisse unterschiedlicher Flußsysteme charakterisieren und einen Vergleich fördern – s. KOETTER (1974, Abb. 11).

Ein erster Blick könnte dazu verleiten, das spezifische Verhältnis von Fracht und Abfluß als „Standortgebunden“ hinzunehmen, denn darauf basiert ja der Vergleich verschiedener Flußsysteme. Leider ist das Verhältnis von Fracht und Abfluß auch an der gleichen Meßstelle veränderlich, wie wir noch sehen werden. Schließlich kann man nicht gut erwarten, daß der Phosphateintrag mit Abwässern von Jahr zu Jahr gleich bleibt.

³⁾ MNQ (mittleres Niedrigwasser) ist der mittlere niedrigste Wert – als arithmetisches Mittel – einer Reihe von anzugebenden Jahren; MQ (mittlere Wasserführung) entsteht als Mittelwert der anzugebenden Jahre. MHQ (mittleres Hochwasser) ist der mittlere höchste Wert einer Reihe von anzugebenden Jahren.

Die korrelative Beziehung zwischen Fracht und Abfluß kann verschiedene Informationen nicht liefern, die wiederum bei einer Verknüpfung von Stoffkonzentration und Abfluß anfallen. Gl. (1) nimmt dann die Form an:

$$(3) \quad c_{PO_4} = 0,293 + \frac{517}{Q}$$

(PO₄ in mg/l).

Die Stoffkonzentration setzt sich dementsprechend aus einem abflußabhängigen und einem abflußunabhängigen Glied (0,293) zusammen. Die Teilgleichung

$$(4) \quad c'_{PO_4} = \frac{517}{Q}$$

ist der mathematische Ausdruck für eine Hyperbel. Sie besagt, daß die Stoffkonzentration, gegen den Abfluß aufgetragen, hyperbolisch abfällt. Interessanterweise stellt gerade dieses Glied den abflußunabhängigen Frachtanteil (517 mg/m³) in Gl. (1) dar. Die Zerlegung der Stoffkonzentration in die beiden genannten Anteile ist immer dann zwingend notwendig, wenn die Herkunft von Wasserinhaltsstoffen in Fließgewässern zur Debatte steht – vgl. z. B. MANCZAK (1971). Sie bietet den Schlüssel für auf andere Weise nicht deutbare Analysenbefunde, so in Abb. 3. Dort sind die o-PO₄-Konzentrationen aus den Jahren 1965/66 bereits in Form einer Ausgleichskurve den Einzelbefunden aus den Jahren 1970/71 gegenübergestellt:

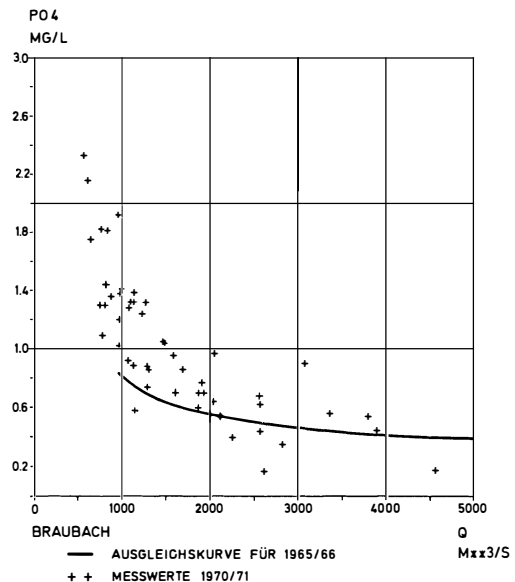


Abb. 3: Zusammenhang zwischen o-PO₄-Konzentration und Abfluß im Mittelrhein 1965/66 sowie 1970/71

Correlation between o-PO₄ concentration and discharge in the Middle Rhine 1965/1966 and 1970/1971

Tabelle 3: Zur Auswertung der Korrelation von $o\text{-PO}_4$ -Konzentration*) und Abfluß. Rhein bei Braubach

Evaluation of correlation between $o\text{-PO}_4$ concentration and discharge (Rhine river at Braubach)

Jahr	a	b. 10^3	r	
1962	0,139	0,154	0,48	I
1963	0,343	0,097	0,21	
1964	0,449	0,015	0,02	
1965	0,310	0,257	0,31	
1966	0,121	0,870	0,89	II
1970	0,012	0,955	0,74	
1971	0,038	1,048	0,78	
1972	0,191	0,909	0,81	
1975	0,070	1,458	0,83	
1976	0,812	0,475	0,37	

*) abzüglich 0,200 mg/l

Für 1970/71 liefert die Ausgleichsrechnung:

$$(5) \quad c_{\text{PO}_4} = 0,124 + \frac{1129}{Q}$$

Die Interpretation dürfte nicht schwer fallen: während der abflußabhängige Teil der Phosphatkonzentration in dieser Zeitspanne merkbar angestiegen ist, blieb der abflußunabhängige Teil in etwa gleich groß, bzw. er ging sogar etwas zurück – vgl. auch Tab. 3. Die Ursache für den Anstieg sehen wir in der Umsatz- und Verbrauchssteigerung von Waschmitteln, der Erhöhung des Lebensstandards auch in Eß- und Trinkgewohnheiten und in der Anbindung weiterer Kläranlagen an die Gewässer – *Forschungsberichte* (1977).

Das, was beim Übergang von der Ausgleichskurve 1965/66 zur Ausgleichskurve 1970/71 sichtbar wird, nämlich der Anstieg der PO_4 -Konzentrationen bei sonst gleichen Abflüssen, kann als Trend näher untersucht werden, wie es am Schluß des Aufsatzes auch geschieht.

Die Stoffsammlung in unserer EDV bot uns die Möglichkeit, über mehr als ein Jahrzehnt das wechselnde Verhältnis von PO_4 -Konzentration und Abfluß auszurechnen, auf der Grundlage von Gl. (3):

Das Schlußglied (a) in Höhe von 0,2932 sollte in der Gleichung nicht mehr auftreten. Daher wurde ein konstanter Betrag von 0,2000 als Mittelwert der Jahresreihen abgezogen:

$$(6) \quad c_{\text{PO}_4} - 0,2 = a + b \cdot \frac{1}{Q}$$

Das Ergebnis ist für den Freund enger Korrelationsbeziehungen nicht in jeder Hinsicht erfreulich! So ist der Zahlenwert für a bis zum Jahre 1965 einschließlich immer noch recht groß (0,139 bis 0,449), obwohl er gegen Null gehen sollte. Dementsprechend liegen auch die Korrelationskoeffizienten im gleichen Zeitraum

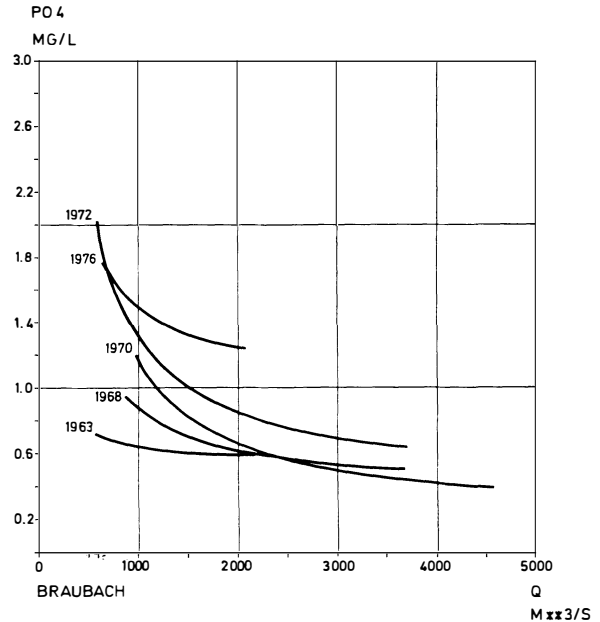


Abb. 4: Ausgleichskurven der $o\text{-PO}_4$ -Konzentrationen im Mittelrhein für die Zeit von 1963 bis 1976

Fitted curves of $o\text{-PO}_4$ concentrations in the Middle Rhine 1963–1976

ausgesprochen ungünstig (0,02 bis 0,48), ja, man muß sogar zugeben, daß von einer Korrelation zwischen PO_4 -Konzentration und Abfluß im Mittelrhein bis zum Ende des Jahres 1965 keine Rede sein konnte. Erst mit 1966 beginnt die Beziehung enger zu werden (Zunahme des Zahlenwertes für b). Sie fällt nur im extrem wasserarmen Jahr 1976 wieder aus dem gewohnten Rahmen.

Ausgewählte Jahresreihen sind zusätzlich in Abb. 4 dargestellt:

Wie gesagt: Hyperbeln dieser Art passen sich nicht nur gut den Meßergebnissen an, sondern sie entsprechen auch den Überlegungen: die Phosphatkonzentration im Fluß ist das Ergebnis der natürlichen Belastung und der künstlichen Einleitung. Letztere ist überwiegend vom Abfluß unabhängig. Sie verursacht jedoch bei relativ kleinen Abflüssen relativ große Stoffkonzentrationen. Bei sehr hohen Abflüssen ($Q \geq 4000 \text{ m}^3/\text{s}$) wird der Phosphatgehalt des Mittelrheins gleich dem absoluten Glied a (zuzüglich natürlich dem bereits abgezogenen Teilbetrag von 0,2 mg/l). Der Zahlenwert für a stellt unter diesen Umständen die Summe aus der natürlichen PO_4 -Belastung (= Background) und dem unteren Grenzwert der Abwasserphosphate dar.

Im Jahre 1963 z. B. ist die Ausgleichskurve bei geringer Steigung zu niedrigen Abflüssen kaum gekrümmt. Die anthropogene Belastung muß daher relativ gering gewesen sein. In den nachfolgenden Jahren sind die Kurven stärker gekrümmt, und sie haben eine größere Steigung. Entsprechend der zeitlichen Reihen-

folge liegen sie übereinander: Die künstliche Phosphatzufuhr ist ständig größer geworden.

Bei sehr hohen Abflüssen ist die zeitliche Entwicklung der PO_4 -Konzentration schwieriger zu deuten. Einmal liegen uns zu wenig Meßergebnisse bei Hochwasser vor, zum andern sind „Räumeffekte“ bei ansteigender Welle besonders sorgfältig zu analysieren. Die Kurven können streng genommen auch nur insoweit miteinander verglichen werden, wie Meßwerte bei etwa gleich hohen Abflüssen vorhanden sind, da eine willkürliche Verlängerung des Meßbereichs eine Art Prognose darstellt. Logischerweise müßte bei jährlich steigendem Phosphatverbrauch die Konzentration auch bei hohen Abflüssen von Jahr zu Jahr größer werden, was der Vergleich von 1968 mit 1972 bestätigt und im übrigen auch 1977 wieder zum Ausdruck kommt.

(Nach Abb. 4 wurde 1963 die PO_4 -Konzentration bei hohen Abflüssen nicht gemessen, während umgekehrt für 1970 Meßwerte auch für hohe Wasserstände vorliegen. Beide Jahre können demnach im Hochwasserbereich nicht verglichen werden.)

Trend der Phosphatbelastung

Der Belastungstrend – für die Wasserwirtschaft ebenfalls sehr aktuell – kann neben der Tab. 3 durchaus der Abb. 4 entnommen werden. Besser wäre jedoch eine überschaubarere Darstellung. Bei dieser dürfte es ausreichen, wenn die Stoff-Fracht bzw. -Konzentration für nur einen Abfluß dargestellt wird. Es ist nun allgemein üblich, für die anschauliche Darstellung der Abwasserbelastung eines Flußsystems die Niedrigwasserabflüsse zugrunde zu legen, nach ECKOLDT (1962) z. B. NQ_{20}^4). In großen Flüssen wie dem Mittelrhein, bei Abflußrelationen MQ:MNQ wie 2,2:1, ist indessen auch die mittlere Wasserführung brauchbar. In der Abb. 5 haben wir die Rechnung auf MQ abgestützt:

Im Einklang mit der bekannten Wirtschaftsentwicklung ergibt sich ein deutlicher Belastungstrend für das letzte Jahrzehnt (falls man 1965 als „Ausreißer“ einstuft, was durch die hohen Abflüsse in diesem Jahr berechtigt ist).

Eine andere uns bewegende Frage ist jedoch, ob MQ auch bei wasserärmeren Flüssen wie der Mosel als Bezugsgröße geeignet ist. Der EDV wurde daher die neue Aufgabe gestellt, Trendkurven für die Mosel bei verschiedenen Abflüssen von MNQ bis MQ und darüber zu erstellen. Einen Teil der Plotter-Zeichnungen sieht man in Abb. 6:

Die ausgezogene obere Linie gilt bei relativ hohen Abflüssen von $300\text{ m}^3/\text{s}$ und mehr. Sie läßt keinen irgendwie plausiblen Trend erkennen, und das mit Recht, wenn man sich an die Bemerkungen zur Abb. 2 erinnert. Anders bei Niedrigwasser! Hier erhält man ein Bild, das mit den Aussagen zur PO_4 -Belastung des

⁴⁾ NQ_{20} ist der Abfluß, der an 20 Tagen im Jahr unterschritten und als „kritischer Abfluß“ angesehen wird.

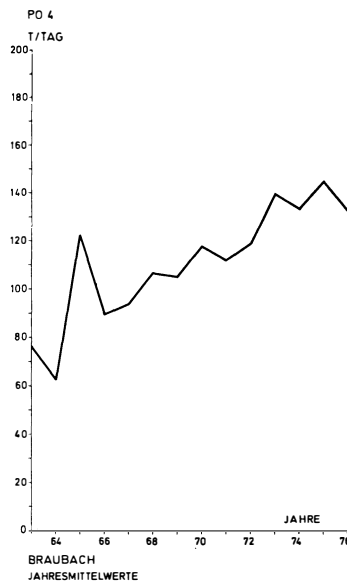


Abb. 5: Jahresmittelwerte, als o- PO_4 -Tagesfrachten, für den Mittelrhein bei Braubach und für die Zeit von 1963 bis 1976

Annual means as daily o- PO_4 loads in the Middle Rhine at Braubach, for the period 1963–1976

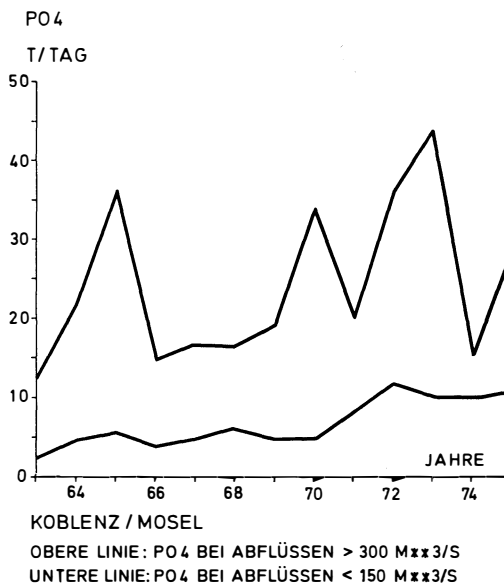


Abb. 6: Jahresmittelwerte, als o- PO_4 -Tagesfrachten, für die Mosel bei Koblenz und für die Zeit von 1963 bis 1975

Annual means as daily o- PO_4 loads in the Moselle at Koblenz, for the period 1963–1975

Mittelrheins korrespondiert. Insofern wird die Regel bestätigt und erweitert: bei Trenddarstellungen sollte die Bezugswasserführung nicht größer als der doppelte Zahlenwert für MNQ sein. Ob auch unter solchen Prämissen in jedem Fall ein Trend nachweisbar ist, das entscheiden nicht zuletzt auch die Güte der Analysen-

befunde und die Streuung der Einzelwerte – vgl. hierzu SCHROEDER (1950, Abschn. VI).

Prognose der PO_4 -Belastung

Die Herkunft der Phosphatfrachten ist wissenschaftlich nicht mehr umstritten. Bei großen und dicht besiedelten Einzugsgebieten wie dem Gebiet des Rheins ist der Anteil der Waschmittelposphate mit 45%, der Anteil der häuslichen Abgänge (Fäkalien) mit 35% anzusetzen. Der Rest stammt aus diffusen Quellen (Background, Regeneintrag, Landwirtschaft) – *Forschungsbericht* (1977).

Für eine Prognose benötigt man nun einige Annahmen. Man kann z. B. annehmen, daß Lebensstandard und Bevölkerungszahl bis zum Jahre 1985 stagnieren (Fall a). Nicht ausgeschlossen ist auch ein teilweiser P-Ersatz in Waschmitteln, der allerdings nach Angaben der Hersteller nur bis zu 30% ausmachen kann (b). Und schließlich soll postuliert werden, daß durch eine Phosphatfällung in ausgewählten Großkläranlagen die P-Eliminierung von derzeit 35% bundesweit auf 65% ansteigen wird (c). Bei einer Anlaufzeit dieser letzten Maßnahme bis 1985 erhält man die in Abb. 7 abgedruckten Kurven:

Im Falle (a) bleibt die Belastung auf hohem Niveau stabilisiert. Das bedeutet $o-PO_4$ -Konzentrationen im Mittelrhein von 1 mg/l bei MQ. Die Maßnahme (b) bringt eine analytisch meßbare Reduktion, die aber an der Größenordnung selbst kaum etwas ändert. Für sich

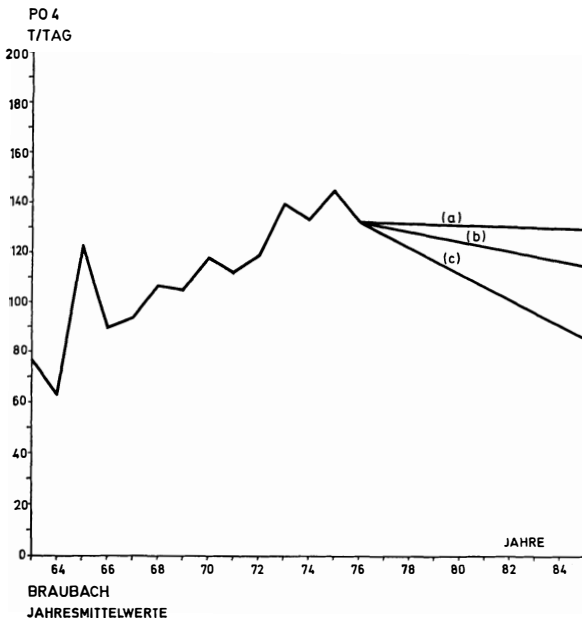


Abb. 7: Jahresmittelwerte wie in Abb. 5, verlängert als Trend unter verschiedenen Annahmen (a) bis (c) bis zum Jahre 1985

Annual means as in Fig. 5, extended as trend under various assumptions (a) to (c), up to the year 1985

allein gesehen ist die Begrenzung des P-Gehaltes in Waschmitteln mehr ein „Akt des guten Willens“.

Erst die Bemühungen im Falle (c) erniedrigen den PO_4 -Spiegel im Rheinwasser drastisch. Einschränkend sei angemerkt, daß die Trendkurve nicht auf Hochwasserabflüsse übertragbar ist und die mit (c) verbundenen Maßnahmen erst allmählich auf diese Abflüsse durchschlagen werden.

Abschließende Bemerkungen

Es ist nicht allzu schwer, durch tägliche Messungen an Fließgewässern das Tatsachenmaterial für die durchfließende Phosphatbelastung zusammenzutragen. Die Summenkurve über ein ganzes Jahr liefert dann die gewünschte Zahl, z. B. 33 000 t $o-PO_4$ (1966). Bei Ein-schluß auch der anderen P-Bindungsformen lag die Größenordnung im Mittelrhein 1966 um 50 000 t. Sie stieg dort bis zum Jahre 1975/76 auf rund 90 000 t, an der deutsch-niederländischen Grenze auf 155 000 t. Eine Hochrechnung für das gesamte Bundesgebiet kommt auf 300 000 t/a, das sind 100 000 t P pro anno (1976). Auf den Einwohner bezogen (62 Mio.) ergibt sich ein „Einwohnergleichwert“ von 4,4 g P/E.d. Die Phosphatbelastung unserer deutschen Fließgewässer zeichnet sich – soweit wir sehen – durch eine relative Übertragbarkeit dieses Zahlenwertes aus: er gilt für die Mosel ebenso wie für den Main und den Neckar. Daß im Einzelfall fachkundige Betrachtungen und Berechnungen notwendig sind, um die Meßwerte richtig zu ordnen, zu selektieren und zu interpretieren, das haben wir versucht, an Beispielen zu begründen.

Literatur

- ECKOLDT, M.: Die Beurteilung der Abwasserbelastung eines Stromgebietes. Dtsch. Gewässerkundl. Mitt. 6, 131–135, 1962.
- Europäische Studiengesellschaft für Polyphosphate: Phosphate und Wasser. 2. Aufl., Rodenkirchen b. Köln 1974.
- Forschungsbericht: Gewässerkundliche Untersuchungen über die Dynamik des Umsatzes von Phosphat, Borat und Nitrat im Rhein. Forschungsbericht für das Bundesministerium des Innern. Koblenz 1977.
- DINKLOH, L.: Einführung in die Statistik und ihre Anwendung bei der Verarbeitung und Beurteilung von Analysendaten. Technische Akademie Wuppertal e. V., Vortrag 8. 12. 1976, Druckfassung dort.
- DOERFEL, K.: Beurteilung von Analyseverfahren und -ergebnissen. Springer Verlag, Göttingen 1962.
- KOETTER, K.: Zum Nährstoffhaushalt der Stevertalsperre Haltern. Vom Wasser 43, 73–106, 1974.
- MANCZAK, H. u. H. FLORCZYK: Interpretation of Results from Studies of Pollution of Surface Flowing Waters. Wat. Res. 5, 575–584, 1971.
- SCHROEDER, G.: Die Korrelationsrechnung und ihre Anwendung in der Wasserwirtschaft. Hrsg. von der Bundesanstalt für Gewässerkunde; Bielefeld 1950, unveränderter Nachdruck Koblenz 1965.
- SCHUMACHER, M.: Ein Datenbanksystem für gewässerkundliche Daten. Dtsch. Gewässerkundl. Mitt. 19, 93–98, 1975.