

Herrn Univ.-Prof.Dipl.-Ing.Dr. R. LIEPOLT zum 80. Geburtstag gewidmet.

SCHWERMETALLE IN DER ÖSTERREICHISCHEN DONAU - VERSUCH EINER
BEURTEILUNG ANHAND DER VORHANDENEN DATEN FÜR Hg,Cd,Pb u.Zn

H. FLECKSEDER

1. Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen der Diskussion um den Donauausbau östlich von Wien ergab sich auch die Frage, ob der Gehalt an Schwermetallen in der Donau einen Aufstau überhaupt zulasse. Von einigen Diskussionsteilnehmern wurde die Auffassung vertreten, über einen Aufstau unterhalb von Wien könne nur nach langjährigen Untersuchungen entschieden werden, während andere Diskussionsteilnehmer der Ansicht waren, bei den bisherigen Donaustauen (Bayern, Österreich) seien keine durch Schwermetalle verursachte Intoxikationen (Ökosystem, Mensch) bekannt geworden. Der Zweck der vorliegenden Arbeit besteht darin, die zugänglichen Daten im Quervergleich zu anderen Arbeiten zu sichten und zu beurteilen.

Folgende Punkte werden als zutreffend vorausgesetzt:

- (a) Die an der Donau in Österreich durchgeführten Probenahmen und Analysen ergaben wahre beobachtete Werte.
- (b) Gleiches gelte für die Zitate in der Literatur, einschließlich möglicher Zitatfehler

2. Beobachtungen an der österreichischen Donau

2.1. Genereller Überblick

Untersuchungen zur gesamten Wasserprobe liegen vor von

F EBNER/ H. GAMS (1984) mit Beobachtungen für den Zeitraum 1976 1984 sowie einzelne Beobachtungen von R. DWORSKY et al. (1973) und F EBNER et al. (1972; 1973) Im folgenden werden wegen des Umfanges an Daten jene von EBNER/GAMS in der Beurteilung berücksichtigt.

Untersuchungen zu Sedimentproben sind noch seltener als jene von Wasserproben. In der schon zitierten Arbeit von EBNER/GAMS (1984) sind Werte für die Stauräume Aschach (1981), Ottensheim-Wilhering (1981), Abwinden-Asten (1981) sowie Ybbs-Persenbeug (1984) enthalten. M. KRALIK/M. SAGER (1986) untersuchten ufernahe Donaukanal- und Donau-Sedimentproben (1984) im Abschnitt Wien-Staatsgrenze gemäß der von GERMAN MÜLLER (Universität Heidelberg) vorgeschlagenen Art der Probennahmen und Analyse, einschließlich der Beurteilung der Ergebnisse in dem von G. MÜLLER vorgeschlagenen "geologischen Index (I_{geo})"

Über Untersuchungen an Fischmuskeln aus dem Raum Zwentendorf (1981) berichten ebenfalls EBNER/GAMS (1984)

2.2. Grundsätzliches zum Donaueinzugsgebiet im Bereich der Probennahme

Die unter 2.1. gezogenen Proben erstrecken sich auf die gesamte Fließstrecke der Donau in Österreich, einschließlich der Grenzstrecken.

Je nach Ort der Probennahme variiert die Größe des Einzugsgebietes und damit auch die Bevölkerungszahl bzw. die durch menschliche Betätigung in diesem hervorgerufene Beeinflussung des Zustandes der Donau. Das größte lokale Ballungsgebiet im Bereich der Probennahme ist die Stadt Wien (1,5 Mio E)

In der folgenden Tabelle 1 werden Vergleiche zwischen der Siedlungsdichte bzw. der auf MQ bezogenen Bevölkerungszahl zur Abklärung, ob eine Mitteilung der erhobenen Konzentration erlaubt ist, herangezogen. Dieser Ansatz geht davon aus, daß die in der Donau beobachteten Werte bezüglich geologischer Herkunft "in der Fläche verstreut" sind und bezüglich der anthropogenen Herkunft der Abstoß ebenfalls nicht von großen Direkteinleitern her stammt.

Tab. 1:

Vergleich von Kennzahlen im Probennahmegebiet

| Stelle | Einwohner E 10^6 | EZGB km^2 | MQ $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ | E MQ ⁻¹ E.s.m ⁻³ | Mq $\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|---|---|
| Kasten/ Obernzell | 10 | 76.000 | 1410 | ca. 7100 | 18.5 |
| Wolfsthal/ Karlova Ves | 16 | ca. 131.000 | 2050 | ca. 7800 | 15,6 |
| ΔWien | Δ1,5 | | 1920 | Δca. 780 | |

Tabelle 1 besagt folgendes:

Die auf MQ bezogene Bevölkerungszahl liegt an den beiden Enden des Beobachtungszeitraumes nur geringfügig auseinander. Die Auswirkung der Stadt Wien liegt in der Größe des Unterschiedes.

Auch der Unterschied im Beitrag aus der Fläche der durch MQ, die Abflußspende bei Mittelwasser gekennzeichnet ist ist gering.

Aus dieser Gegenüberstellung ist zu folgern, daß bei Probennahmen im Bereich von MQ eine Mittelung der längs der Fließstrecke beobachteten Werte zulässig ist und

daß die Auswirkung von Wien anhand von einfachen statistischen Kenngrößen z.B. durch Mittelwerte und Abweichung von Datensätzen oberhalb und unterhalb von Wien mit der Anwendung einer einfachen statistischen Prüfung zumindest für eine erste Abschätzung erfaßt werden kann.

2.3. Überlegungen zur Auswahl der Schwermetalle

Um den Rahmen der Bearbeitung knapp zu halten, ist eine Auswahl unter den verschiedenen gemessenen Schwermetallen zu treffen. Interessant sind dabei Metalle, die einen i.a. gesteigerten Verbrauch aufweisen und toxisch sind; sie können dabei durchaus auch essentiell für Stoffwechselkreisläufe sein. Solche Metalle sind z.B. Hg, Cd, Pb und Zn, und da auch KRALIK/SAGER nur diese gegenüber sog. "Background Konzentrationen" als überhöht fanden, erfolgt die weitere Bearbeitung für diese.

2.4. Zusammenfassende Darstellung der Beobachtungen2.4.1. Werte in der gesamten Wasserprobe

Die Beobachtungen von EBNER/GAMS lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Tab. 2:

Vergleich aller Daten mit dem Durchschnitt 1976 - 1979
bzw. dem Durchschnitt 1984, gemittelt auf der gesamten Fließstrecke

(Q ist bezogen auf den Pegel Wien-Reichsbrücke)

| | Alle Daten | | 1976-1979 | | 1984 | | Dim. |
|----|---|-------------|---|-------------|-----------|-------------|---------------------------|
| Hg | \bar{x} | 0,060 | \bar{x} | 0,066 | \bar{x} | 0,057 | μgl^{-1} |
| | S_1 | $\pm 0,040$ | S_1 | $\pm 0,049$ | S_1 | $\pm 0,039$ | μgl^{-1} |
| | n | 121 | n | 27 | n | 25 | |
| Cd | \bar{x} | 0,42 | \bar{x} | 0,63 | \bar{x} | 0,13 | μgl^{-1} |
| | S_1 | $\pm 0,39$ | S_1 | 0,56 | S_1 | 0,07 | μgl^{-1} |
| | n | 119 | n | 25 | n | 25 | |
| | (2 Werte mit 5,0 μgl^{-1}) | | (2 Werte mit 5,0 μgl^{-1}) | | | | |
| Pb | \bar{x} | 2,85 | \bar{x} | 3,66 | \bar{x} | 1,23 | μgl^{-1} |
| | S_1 | $\pm 2,52$ | S_1 | $\pm 2,53$ | S_1 | $\pm 0,57$ | μgl^{-1} |
| | n | 121 | n | 27 | n | 25 | |
| Zn | \bar{x} | 20,0 | \bar{x} | 34,4 | \bar{x} | 12,8 | μgl^{-1} |
| | S_1 | $\pm 15,8$ | S_1 | $\pm 25,3$ | S_1 | $\pm 5,6$ | μgl^{-1} |
| | n | 121 | n | 27 | n | 25 | |
| Q | \bar{x} | 1740 | \bar{x} | 1560 | \bar{x} | 1740 | m^3s^{-1} |
| | S_1 | ± 550 | S_1 | ± 430 | S_1 | ± 170 | m^3s^{-1} |
| | n | 121 | n | 27 | n | 25 | |

Tab. 3:

Vergleich von Werten oberhalb (o) und unterhalb (u)
von Wien in den Jahren 1976 1980 bzw 1983/1984

| | 1976-1980 | | | | 1983/1984 | | | | Dim. |
|----|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------------------|
| | o | | u | | o | | u | | |
| Hg | \bar{x} | 0,054 | \bar{x} | 0,068 | \bar{x} | 0,064 | \bar{x} | 0,052 | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| | S_1 | $\pm 0,039$ | S_1 | $\pm 0,044$ | S_1 | $\pm 0,050$ | S_1 | $\pm 0,054$ | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| | n | 12 | n | 12 | n | 19 | n | 12 | |
| Cd | \bar{x} | 0,94 | \bar{x} | 1,00 | \bar{x} | 0,09 | \bar{x} | 0,09 | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| | S_1 | $\pm 1,0$ | S_1 | $\pm 1,4$ | S_1 | $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ | S_1 | $\pm 2 \cdot 10^{-5}$ | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| | n | 12 | n | 12 | n | 19 | n | 12 | |
| Pb | \bar{x} | 2,95 | \bar{x} | 3,5 | \bar{x} | 1,40 | \bar{x} | 1,67 | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| | S_1 | $\pm 1,2$ | S_1 | $\pm 1,4$ | S_1 | $\pm 0,85$ | S_1 | $\pm 0,78$ | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| | n | 12 | n | 12 | n | 19 | n | 12 | |
| Zn | \bar{x} | 29,6 | \bar{x} | 37,8 | \bar{x} | 11,8 | \bar{x} | 14,3 | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| | S_1 | $\pm 20,4$ | S_1 | $\pm 23,2$ | S_1 | $\pm 4,4$ | S_1 | $\pm 1,5$ | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| | n | 12 | n | 12 | n | 19 | n | 12 | |
| Q | \bar{x} | 1650 | \bar{x} | 1610 | \bar{x} | 2070 | \bar{x} | 2230 | $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ |
| | S_1 | ± 680 | S_1 | ± 560 | S_1 | ± 620 | S_1 | ± 560 | $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ |
| | n | 12 | n | 12 | n | 19 | n | 12 | |

2.4.2. Werte im Sediment

- (a) Werte von EBNER/GAMS am gesamten Sediment, überwiegend aus dem Stauraum Ybbs-Persenbeug (11 Proben an unterschiedlichen Stellen, 1984) sowie aus den Stauräumen Aschach, Ottensheim-Wilhering und Abwinden-Asten (1981) Bezug auf die Trockensubstanz.

Tab. 4:

Werte im Sediment von EBNER/GAMS

(Bezug auf die gesamte Trockensubstanz)

| | Hg | Cd | Pb | Zn | Dim. |
|----------------|--------|--------|-------|-------|---------------------|
| n | 14 | 14 | 3 | 14 | |
| \bar{x} | 0,39 | 0,68 | 68 | 246 | mg kg ⁻¹ |
| s ₁ | ± 0,14 | ± 0,31 | ± 3,6 | ± 139 | mg kg ⁻¹ |

(b) Werte von KRALIK/SAGER am Sediment der Korngröße < 100 µm, aus dem Donaustrom zwischen der Floridsdorfer Brücke und Hainburg (1984) Bezug auf die Trockensubstanz. Angabe des I_{geo} nach G. MÜLLER.

Tab. 5:

Werte im Sediment < 100 µm von KRALIK/SAGER

| Absolut | Hg | Cd | Pb | Zn | Dim. |
|------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------|
| n | 8 | 11 | 11 | 11 | |
| \bar{x} | 0,77 | 0,86 | 82 | 273 | mg kg ⁻¹ |
| s ₁ | ± 0,47 | ± 0,49 | ± 56 | ± 70 | mg kg ⁻¹ |
| I _{geo} | Hg | Cd | Pb | Zn | |
| n | 8 | 11 | 11 | 11 | |
| \bar{x} | 1,05 | 1,19 | 1,18 | 1,03 | |
| s ₁ | ± 0,74 | ± 0,74 | ± 0,76 | ± 0,34 | |

2.4.3. Werte im Muskelfleisch von Fischen

Die bei EBNER/GAMS zitierten Werte beziehen sich auf Fische (Aiteln, Barben, Nasen, Nerfling, Rußnasen) aus dem Raum Zwentendorf (1981) Die Schwermetallgehalte beziehen sich auf das "Naßgewicht"

Tab. 6:

Werte im Muskelfleisch von Fischen (EBNER/GAMS)

| | Hg | Cd | Pb | Zn | Dim. |
|----------------|------|-------|-------|-----|---------------------|
| n | 19 | 19 | 9 | 19 | |
| \bar{x} | 0,32 | 0,005 | 0,090 | 6,4 | mg kg ⁻¹ |
| s ₁ | 0,17 | 0 | 0,042 | 1,8 | mg kg ⁻¹ |

3. Versuch einer Beurteilung

3.1. Werte in der gesamten Wasserprobe

Die "Gesamtprobe" kann z. B. durch Filtration entsprechender Porengröße in die "gelöste Probe" und die partikuläre Probe" aufgeteilt werden. Im allgemeinen werden Werte entweder als gelöst oder gesamt angegeben. Publikationen zum partikulären Anteil sind selten.

Die Mittelung aller Werte aus dem Zeitraum 1976 bis 1984 schafft einen ersten Vergleich, der auf Veränderungen entlang der Zeitachse nicht Rücksicht nimmt. Deshalb wurde auch eine Gliederung in Werte aus der Zeit 1976 1979 und Werte aus dem Jahr 1984 durchgeführt, um Veränderungen entlang der Zeitachse zu erkennen. Solche sind auch tatsächlich eingetreten. Abgesehen von Hg sind die mittleren Konzentrationen von Cd auf ein Fünftel, von Pb auf ein Drittel und von Zn ebenfalls auf ein Drittel bei annähernd unveränderter Varianz zurückgegangen.

Tab. 7:

Vergleich der Mittelwerte anhand des T-Testes

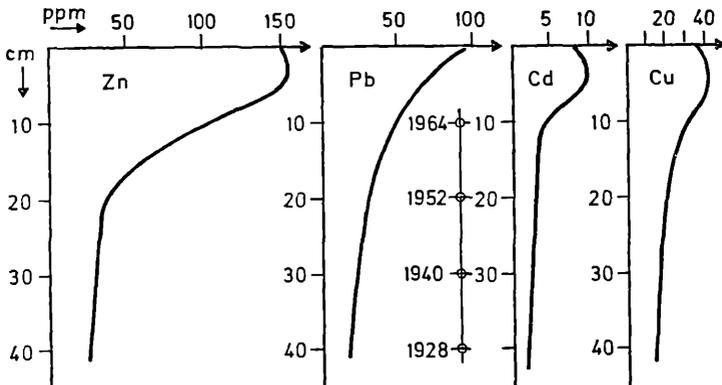
- Hg: Ein Unterschied zwischen den beiden Mittelwerten ist statistisch nicht feststellbar.
- Cd: Ein Unterschied ist statistisch hochsignifikant feststellbar.
- Pb, Zn: Ein Unterschied ist statistisch signifikant feststellbar.

Als vermutete Ursachen für diesen Rückgang, der auch aus Sedimentprofilen des Greifensees in der Schweiz (J.ZOBRIST, 1983) ersichtlich wird, sind zu nennen:

Maßnahmen an der Quelle (als Beispiele: metallbearbeitende Betriebe, chemische Industrie, Substitution in Produkten)

Ausweitung der biologischen Reinigung mit vermehrter Inkorporation von Schwermetallen im Klärschlamm.

Abb. 1:

Schwermetallgehalt in Sedimentprofilen des Greifensees, Schweiz. Quelle: J. ZOBRIST, 1983

Wie sind nun die Werte in Tabelle 2 zu beurteilen?

Aus U.FÖRSTNER/G.T.W. WITTMANN ergibt sich ein "gelöster Background" von $0,01 \mu\text{g Hg l}^{-1}$, $0,07 \mu\text{g Cd l}^{-1}$, $0,2 \mu\text{g Pb l}^{-1}$ und $0,5 \mu\text{g Zn l}^{-1}$ doch kann dieser nur indirekt mit den Messungen der Bundesanstalt verglichen werden.

Aus den Tabellen der INTERNATIONALEN KOMMISSION ZUM SCHUTZE DES RHEINS GEGEN VERUNREINIGUNG (1984) folgt, daß dort entlang der Fließstrecke zwischen Seltz oberhalb von Karlsruhe und den Mündungen in die Nordsee folgende Werte vorlagen (Tab. 8)

Tab. 8:

Schwermetallgehalte im Rhein

| | 1976 | 1979 | 1984 | 1976 | 1984 | Dim. |
|----|------|------|-------|------|------|----------------------|
| Hg | 0,32 | | 0,083 | 0,23 | | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| Cd | 1,45 | | 0,30 | 0,97 | | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| Pb | 17,1 | | 5,62 | 11,4 | | $\mu\text{g l}^{-1}$ |
| Zn | 113 | | 57 | 90 | | $\mu\text{g l}^{-1}$ |

Der Vergleich der Tabellen 2 und 8 zeigt, daß

auch am Rhein die Gehalte an Schwermetallen zurückgegangen sind;
daß sowohl im Zeitraum 1976 1979 als auch 1984 die Werte am Rhein deutlich höher als an der österreichischen Donau lagen. (Die mittlere Siedlungsdichte am Rhein liegt jedoch auch bei ca. 500 E/km² und damit deutlich höher als an der Donau.)

Gibt es nun Untersuchungen, womöglich an stehenden Gewässern, die Aussagen über Auswirkungen von Schwermetallen auf das betrachtete aquatische Ökosystem zulassen? - Ja, eine solche Studie ist z.B. das Experiment MELIMEX der EAWAG (R. GÄCHTER, 1979) Die Eidgenössische Verordnung über Abwassereinleitungen enthält auch Qualitätsziele für Fließgewässer und Flußstau; die Werte betragen $\leq 1,0 \mu\text{g Hg l}^{-1}$, $\leq 5,0 \mu\text{g Cd l}^{-1}$ $\leq 50 \mu\text{g Pb l}^{-1}$ und $\leq 200 \mu\text{g Zn l}^{-1}$ Ziel der Studie MELIMEX war es dabei auch, abzuschätzen, welche Auswirkungen Schwermetallgehalte dieser Größenordnung auf das Leben in sog. "Limno-Corals" haben. "Limno-Corals" sind künstliche, vom übrigen Seewasser bis zum Boden hinunter abgetrennte Wasserkörper. Die "Limno-Corals" in der Studie MELIMEX hatten einen Durchmesser von ca. 12 m und eine Wassertiefe von ca. 10 m (Inhalt ca. 1130 m³), die Durchflußzeit betrug ca. 100 d (im Vergleich: Donau in Österreich bei Vollausbau der Staukette bei MQ ca. 7 d, was einer "mittleren" Fließgeschwindigkeit von ca. 0,5 m s⁻¹ entspricht) Die Untersuchungen wurden im Zeitraum 1977/78 am damals hoch eutrophen Baldeggersee (Ges.P zur Zeit der Volldurchmischung 400 $\mu\text{g l}^{-1}$ DOC im Epilimnion ca. 4 mg l⁻¹ Karbonat 8,4 °dH, pH zwischen 7,5 und 9,6, O₂ im Extrem nur in den oberen 5 Metern

vorhanden; im Vergleich dazu die Donau:Ges.P ca.250 $\mu\text{g l}^{-1}$, Karbonat 8,0 °dH, pH zwischen 7,8 und 8,1, O_2 zwischen 8,6 und 11,6 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) durchgeführt.

Die den "Limno-Corals" zugeführten Konzentrationen schwanken gemäß Tabelle 9, wobei es sich um gelöste Werte handelt.

Tab. 9:

Konzentrationen im Zulauf zu den "Limno-Corals",
Studie MELIMEX

| Hg | Cd | Pb | Zn | Dim. |
|-----------|-----------|---------|-----------|----------------------|
| 1,1 (2,1) | 5,9 (9,7) | 52 (99) | 207 (401) | $\mu\text{g l}^{-1}$ |

Diese gelösten Konzentrationen in Tabelle 9 liegen um Faktoren von 20 bis 40 für Hg und Zn sowie 50 bis 100 für Cd und Pb über den in der Donau in der Gesamtprobe erhobenen Konzentrationen entlang der österreichischen Donaustrecke im Jahre 1984.

GÄCHTER faßt die wichtigsten Ergebnisse der Studie MELIMEX wie folgt zusammen:

- (1) Der Zulauf zum "Kontroll-Coral" wies folgende Konzentrationen auf: Hg nicht nachweisbar, Cd $0,07 \mu\text{g l}^{-1}$, Pb $0,2 \mu\text{g l}^{-1}$ und Zn $6,5 \mu\text{g l}^{-1}$
- (2) Die beiden "Versuchs-Corals" wurden überwiegend im Konzentrationsbereich gemäß der EIDGENÖSSISCHEN VERORDNUNG belastet, d.h. Hg $\sim 1,0 \mu\text{g l}^{-1}$, Cd $\sim 5,0 \mu\text{g l}^{-1}$, Pb $\sim 50 \mu\text{g l}^{-1}$ und Zn $\sim 200 \mu\text{g l}^{-1}$
- (3) Durch die erhöhten Schwermetallkonzentrationen wurden sowohl das Phytoplankton das Zooplankton als auch die Bodenfauna negativ beeinflusst. Es traten auch qualitative und quantitative Veränderungen in der Zusammensetzung des Phytoplanktons auf.

- (4) Die erhöhten Metallkonzentrationen im Medium führten zwar zu erhöhten Metallgehalten im Plankton, aber es ergaben sich keinerlei Anzeichen für eine Anreicherung der Metalle in der Nahrungskette.
- (5) Hg, Cd, Pb und Zn wurden entsprechend ihrer unterschiedlichen chemischen Natur unterschiedlich rasch aus der gelösten Phase eliminiert. Im vorliegenden Fall war das Plankton die hauptsächlichste Senke für gelöste Schwermetalle und anorganische Fällungen spielten bei den durchgeführten Untersuchungen keine wesentliche Rolle. (Dieser Punkt kann sich an der Donau durchaus anders verhalten.)

Die Studie MELIMEX und die an der Donau vorgefundenen Werte erlauben folgende vorläufige Beurteilung:

Die Anreicherung der in der Donau vorhandenen Schwermetalle Hg, Cd, Pb und Zn in der Nahrungskette niedriger trophischer Stufe ist als gering abschätzbar (Daß in Fischen Hg in Relation zu Zn angereichert wird, Cd und Pb jedoch nicht, wird später noch besprochen.)

Die Analysen der Bundesanstalt für Wassergüte (EBNER/GAMS, 1984) erlauben jedoch auch einen Vergleich der Verhältnisse oberhalb und unterhalb von Wien. Als "oberhalb" wurde dabei der Bereich von Ybbs-Persenbeug bis Wien-Nußdorf bzw. Wien-Floridsdorf, als "unterhalb" jener unterhalb der Rückführung des Donaukanals in die Donau festgelegt. Die in Tabelle 3 enthaltenen Werte zeigen, daß sowohl im Zeitraum 1976 bis 1980 als auch 1983/84 statistisch an den Proben oberhalb und unterhalb von Wien kein Unterschied feststellbar ist. Damit ist in gewissem Umfang dem Argument, durch die Abwässer der Stadt

Wien erfolge ein für den Donaustrom maßgebender Eintrag an Schwermetallen, zumindest vorläufig die Basis entzogen. Die Begründung für diese Aussage ist u. a. auch der Tabelle 4 - ΔE von ca. 780 E.s.m^{-3} bei sonst üblichen ca. 7500 E.s.m^{-3} entnehmbar.

3.2. Werte im Sediment

Die Messungen von EBNER/GAMS und KRALIK/SAGER können nicht direkt miteinander verglichen werden, da sie sich auf eine unterschiedliche Festlegung des Begriffes "Trockensubstanz" beziehen.

Bei Vergleich der zugeordneten Tabellen 4 und 5 fällt auf, daß die Zahlenwerte (mg/kg TS) von ähnlicher Größe sind. Daraus ließe sich einerseits folgern, daß auch bei EBNER/GAMS der überwiegende Anteil der Sedimente aus der Kornfraktion $< 100 \mu\text{m}$ bestand, aber auch andererseits, daß bei Bezug auf die Kornfraktion $< 100 \mu\text{m}$ größere Werte zu erwarten seien. Wegen Fehlens der Bestimmungsstücke kann jedoch ohne neuerliche Probennahme und Analyse nicht weiter entschieden werden.

Welche Vergleichsmöglichkeiten bestehen nun?

In Tabelle 10 sind die Werte für das Sediment des Bodensees (FÖRSTNER et al., 1974) sowie der "Background" in durchschnittlichem Tongestein (TUREKIAN/WEDEPOHL, 1961; zitiert in FÖRSTNER/WITTMANN, 1981) enthalten.

Tab. 10:

Vergleichswerte für Schwermetalle im Sediment des Bodensees und in durchschnittlichem Tongestein

| | Hg | Cd | Pb | Zn | Dim. |
|------------|-----|-----|----|-----|---------------------|
| Bodensee | 0,2 | 0,2 | 19 | 124 | mg kg ⁻¹ |
| Tongestein | 0,4 | 0,3 | 20 | 95 | mg kg ⁻¹ |

Eine Gegenüberstellung des "Backgrounds" mit den Messungen an der österreichischen Donau ergibt bei Außerachtlassung der jeweiligen Unterschiede im Feinanteil der Sedimente

- für Hg gleiche bis doppelte Werte;
- für Cd zweifache bis dreifache Werte;
- für Pb ca. vierfache Werte;
- für Zn ca. dreifache Werte.

Wie liegen nun die Schwermetallgehalte (bzw. der "geologische Index I_{geo} ") bei anderen Einzugsgebieten?

In einer vor kurzem erschienenen populären Darstellung (G. MÜLLER, 1985) wird " I_{geo} für die Flüsse Elbe, Ems, Donau, Main, Neckar, Rhein und Weser dargestellt, wobei MÜLLER jedoch die Kornfraktion $< 2\mu\text{m}$ (KRALIK/SAGER Kornfraktion $< 100\mu\text{m}$) untersuchte. In dem von KRALIK/SAGER errechneten I_{geo} gehen die Backgroundwerte für Hg mit $0,18\text{ mg kg}^{-1}$ und für Cd mit $0,22\text{ mg kg}^{-1}$ ein, während MÜLLER die in Tabelle 10 genannten Werte von $0,4\text{ mg kg}^{-1}$ für Hg und $0,3\text{ mg kg}^{-1}$ für Cd verwendet. Bei Pb und Zn bestehen keine Unterschiede in den Rechensätzen.

Nach Vereinheitlichung auf die Backgroundwerte von MÜLLER ergibt sich das Bild von Tabelle 11.

Tab. 11:

I_{geo} mit Backgroundwerten aus Tabelle 10 für Proben von KRALIK/SAGER aus dem Donaustrom

| | Hg | Cd | Pb | Zn |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| n | 8 | 11 | 11 | 11 |
| \bar{x} | 0,19 | 0,73 | 1,18 | 1,03 |
| S_1 | $\pm 0,74$ | $\pm 0,76$ | $\pm 0,76$ | $\pm 0,74$ |

Das von G. MÜLLER eingeführte Klassifikationsschema hat folgenden Aufbau:

| I_{geo} | I_{geo} -Klasse | Beurteilung |
|-----------|-------------------|-----------------------------|
| < 0 | 0 | praktisch unbelastet |
| $> 0 - 1$ | 1 | unbelastet - mäßig belastet |
| $> 1 - 2$ | 2 | mäßig belastet |
| $> 2 - 3$ | 3 | mäßig - stark belastet |
| $> 3 - 4$ | 4 | stark belastet |

Diese Skala ist nach oben hin offen.

In Tabelle 12 ist nun der Vergleich mit gestauten Flüssen in der BRD enthalten.

Tab. 12:

Vergleich zwischen gestauten Flüssen in der BRD und der Donau von Wien bis Hainburg anhand des I_{geo}

(Werte sind I_{geo} -Klassen)

| | Hg | Cd | Pb | Zn |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Donau (Wien bis Hainburg) | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Donau (BRD) | 0 | 2-3 | 1-2 | 2 |
| Main | 0-1 | 2-5 | 2 | 2-5 |
| Neckar | 0 | 2-4 | 1-2 | 2 |
| Rhein (Oberlauf bis Frankfurt) | 1-2 | 2-3 | 2-3 | 2-3 |

Aus diesem Vergleich und unter Berücksichtigung der Zahlenwerte für I_{geo} läßt sich folgendes schließen:

Hg ist unterhalb von Wien etwas stärker angereichert als an der deutschen Donau.

Cd ist wesentlich niedriger angereichert (Unterschied durch Größe der Kornfraktion bedingt?)

Pb ist etwas stärker angereichert.

Zn ist ähnlich angereichert.

Gesamthaft: Die Situation an der Donau unterhalb von Wien ist im großen und ganzen ähnlich jener bei Flüssen in der BRD mit Stauhaltungen.

G. MÜLLER (1985) hält auch fest, daß in der Zeitspanne 1972 auf 1985 mit Ausnahme der Elbe wesentliche Verbesserungen an allen Flüssen eingetreten seien. Ähnliches ist auch für die Situation an der österreichischen Donau, vor allem auch aufbauend auf den gesamten Wasserproben der Bundesanstalt für Wassergüte, zu vermuten.

3.3. Werte im Fischmuskelfleisch

EBNER/GAMS halten fest, daß die für Hg vorgefundenen Werte deutlich unter dem international empfohlenen Richtwert von $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ und vollständig unter dem Grenzwert der deutschen Quecksilberverordnung von $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ liegen.

Der Quervergleich der gesamten Wasserprobe, der Werte in den Sedimenten und im Fischmuskelfleisch erlaubt Schlüsse zur Anreicherung der betrachteten Schwermetalle. Dazu dienen die Zahlen in Tabelle 13.

Tab. 13:

Relation der Schwermetalle bei Normierung auf Zink = 100%

| | Hg | Cd | Pb | Zn |
|----------------------------------|--------|---------|--------|-------|
| Donau, 1983/84, o | 0,54 % | 0,76 % | 11,9 % | 100 % |
| Sedimente EBNER/GAMS | 0,16 % | 0,28 % | 27,6 % | 100 % |
| Sedimente KRALIK/SAGER | 0,28 % | 0,32 % | 30,0 % | 100 % |
| Fischmuskelfleisch EBNER/GAMS | 5,0 % | 0,078 % | 1,4 % | 100 % |

Diese Zahlen sind nun insoferne von Interesse, da sie in Relation zu Zink anzeigen, daß sich wohl Quecksilber, jedoch nicht Blei und Kadmium im Fischmuskelfleisch anreichern. Interessant im relativen Vergleich der Tabelle 13 erscheint auch, wiederum bei Normierung auf Zink, daß sich

Quecksilber und Kadmium im Vergleich zur gesamten Wasserprobe nicht im Sediment anreichern, Blei anscheinend schon.

4. Sonstige Fragestellungen

Die Daten aus Abschnitt 2 und deren Beurteilung im Abschnitt 3 behandeln nur das Vorhandensein von Schwermetallen in der Donau, weitgehend unbeschadet der Tatsache des freien Fließens bzw. der Errichtung von Stauhaltungen. Auch der Fragenkreis der Remobilisierung von Schwermetallen wurde bisher nicht besprochen.

Die Auswirkung der Errichtung von Stauhaltungen kann anhand der vorliegenden Daten nicht quantitativ beurteilt werden. In Bayern bestehen jedoch seit langem schon Staustufen, und auch in Österreich haben wir an verschiedenen Stellen Staustufen seit langer Zeit. In GEWÄSSERSCHUTZ IN BAYERN, 1971, ist nachzulesen, daß Anfang der 70er Jahre an der Donau elf Stauhaltungen vorhanden waren und im gesamten Freistaat das Abwasser von ca. 40 % der Bevölkerung biologisch, von ca. 20 % nur mechanisch, von ca. 15 % überhaupt nicht gereinigt wurde und daß ca. 25 % über keine Kanalisation verfügten. Zusätzlich waren damals noch viele industrielle Einleitungen ohne biologische Reinigung vorhanden. Die vielfach in der Diskussion rund um den Donauausbau unterhalb von Wien befürchtete Remobilisierung von Schwermetallen scheint somit bei den bestehenden Staustufen nicht eingetreten zu sein.

Bezüglich Remobilisierung ist in FÖRSTNER/WITTMANN (1981) folgendes festgestellt:

- (a) Remobilisierung durch Erhöhung des Salzgehaltes.
Dazu werden Experimente mit Meerwasser herangezogen
(z.B. Salzgehalt 600 mg l^{-1})
- Dieser Fall ist beim Wasserreichtum der Donau auszu-
schließen.
- (b) Remobilisierung durch Änderungen der Redox-Verhältnisse,
i. a. bei einer wesentlichen Abnahme des O_2 -Gehaltes.
Es bleibt abzuwarten, was die laufenden Untersuchungen
am Stauraum Altenwörth ergeben werden.
- Bisher ist zu schließen, daß diese Situation wegen
der guten Sauerstoffversorgung an der Donau eben-
falls auszuschließen ist, und zwar auch bei Stau-
haltungen.
- (c) Remobilisierung durch Absinken des pH-Wertes.
Nach FÖRSTNER/WITTMANN ist ein pH-Wert von unterhalb
5 kritisch.
- Diese Situation ist an der Donau ebenfalls auszu-
schließen (Wasserreichtum, Härte des Donauwassers)
- (d) Remobilisierung durch vermehrte Anwendung von Komplex-
bildnern (z.B. NTE in Waschmitteln)
- Der Einsatz von NTE statt Polyphosphat in Wasch-
mitteln ist nicht an die Errichtung oder Nichter-
richtung von Donaustaustufen gebunden. Generell
gilt bezüglich NTE, in welchem Umfang es bei der
biologischen Reinigung aus dem Abwasser entfernt
wird.

In der Diskussion um den Donauausbau östlich von Wien
wurde auch darauf verwiesen, daß Donaustaue eine wesent-
liche Änderung der Flora und Fauna und dadurch eine ver-
stärkte Anreicherung von Schwermetallen in der Nahrungs-
kette erwarten ließen. Begründet wurde diese Aussage mit

der Feststellung, daß auch die sessile Fauna an einer Inkorporation bzw. Remobilisierung beteiligt sei. Dieser Punkt kann ebenfalls anhand der vorliegenden Beobachtungen nicht näher beurteilt werden und sollte bei den Untersuchungen am Stauraum Altenwörth mit berücksichtigt werden.

5. Folgerungen

Die in Abschnitt 3 durchgeführten Beurteilungen legen den Schluß nahe, daß die derzeitige Situation bei den Schwermetallen Hg, Cd, Pb und Zn kein Hindernis für die Errichtung von Donaustaufstufen darstellt. Diese Aussage ist ein Werturteil unsererseits, das auf der Gedankenkette der Abschnitte 2 bis 4 aufbaut.

Der Probenumfang der bisherigen Erhebungen ist vergleichsweise gering, und deshalb wurde auch festgehalten, daß die vorstehende Aussage unsererseits ein Werturteil darstellt.

Die Strittigkeit der Bedeutung der Schwermetalle in der österreichischen Donau kann nur durch eine Intensivierung der Probennahme mit gleichzeitiger Auswertung im Quervergleich abgeklärt werden.

Es wird deshalb vorgeschlagen, zeitlich befristet die Probennahme sowohl räumlich als auch zeitlich zu intensivieren. Unter räumlicher Intensivierung ist dabei eine Ausdehnung der Erhebungen über eine größere Zahl von Meßstellen längs des Fließweges, entlang eines Stauraumes, als auch an Querprofilen (z.B. bei bestehenden Donaustaufstufen), unter zeitlicher Intensivierung eine bessere Auflösung entlang der Zeitachse (z.B. größere Zahl von Einzelproben bzw. Entnahme von Mischproben) zu verstehen.

Als durchaus wünschenswert ist auch die Erfassung dynamischer Vorgänge (z.B. Tagesgänge, Hochwasserwellen) zu betrachten. Sobald Klarheit über die vorhandenen Schwankungen besteht, sollte die Probennahme wieder auf das erforderliche Mindestmaß eingeschränkt werden.

Die Beprobung sollte sowohl die gelöste Wasserprobe, die gesamte Wasserprobe, das Sediment wie auch maßgebende Organismen der Nahrungskette umfassen.

Die Datenauswertung erscheint uns im Vergleich zur Probennahme als eine gleichrangige Aufgabe. Ziel der Aufgabenstellung kann es dabei nur sein, die Herkunft und den Verbleib der Schwermetalle zu erfassen, um fallweise besser eingreifen zu können (national, international).

Der bisher beschrittene Weg der Minimierung des Abstoßes an der Quelle sollte unabhängig von der vorgeschlagenen Beprobung konsequent weiterverfolgt werden.

6. Zusammenfassung

- (1) Im Zusammenhang mit der Frage der Donaugestaltung östlich von Wien war von einer Seite der Diskussions- teilnehmer verlangt worden, daß vor der Errichtung und dem Betrieb von Donaustaufstufen unterhalb von Wien wegen der großen Belastung durch Wien die vorhandene Situation eingehend studiert werden müsse. Die vorliegenden Daten seien unzureichend.
- (2) Dieser Feststellung steht die Tatsache gegenüber, daß wenn auch in beschränktem Umfang Daten über die Situation entlang der österreichischen Fließstrecke vorhanden sind.

- (3) Anhand der Mittelwerte aus den Daten des Abschnittes 2 wurden im Abschnitt 3 ein Vergleich und eine Beurteilung und im Abschnitt 4 eine Diskussion nicht quantifizierbarer Aspekte durchgeführt.
- (4) So wie in den Flüssen der BRD ist anscheinend auch an der österreichischen Donau der Gehalt an Schwermetallen von der Mitte der 70er- auf die Mitte der 80er-Jahre zurückgegangen. Diese Aussage fußt auf Kartierungen am Sedi-ment in der BRD sowie auf Analysen an gesamten Wasserproben in Österreich. Als Gründe für diesen Rückgang sind Maßnahmen an der Quelle, aber auch die Inkorporation von Schwermetallen in den Klärschlamm bei der biologischen Reinigung zu nennen.
- (5) Die Gewässersituation bei den betrachteten Schwermetallen Hg, Cd, Pb und Zn ist von ähnlicher Art wie jene an der deutschen Donau, am Main oberhalb Aschaffenburg und am Neckar. Alle diese Flüsse weisen ebenfalls Stauhaltungen zur Wasserkraftnutzung und teilweise auch zur Schiffbarmachung auf. Eine übermäßige Anreicherung an Schwermetallen in der Nahrungskette ist in den gesamten Flußgebieten im Gegensatz zum Unterlauf von Elbe und Rhein in den Jahren ab 1980 nicht bekannt geworden.
- (6) Die in der Schweiz durchgeführte Studie MELIMEX ergab, daß in künstlich abgetrennten stehenden Wasserkörpern an einem hocheutrophen See gelöste Konzentrationen an Hg, Cd, Pb und Zn, die je nach Metall zwanzig- bis hundertfach über den gesamten (= gelösten plus partikulären) Konzentrationen in der österreichischen Donau lagen, nicht zu einer Anreicherung in der Nährstoffkette führten und in der speziellen Situation durch

das Plankton und nicht durch das Sediment eliminiert werden. Bei diesen den Zielvorstellungen der EIDGENÖSSISCHEN RICHTLINIEN entsprechenden Konzentrationen trat jedoch eine Verschiebung im Artenspektrum auf.

- (7) Ein Vergleich der Mittelwerte von wenigen Messungen zeigt, daß durch die Einleitung der Wiener Abwässer keine wesentliche Erhöhung der Schwermetallkonzentrationen eintritt. Dieser Vergleich stimmt überein mit der Abschätzung des Anstieges an spezifischer Einwohnerzahl bezogen auf MQ in Relation zur durchschnittlichen Einwohnerzahl bezogen auf MQ (Δ ca. 10 %)
- (8) Die vorliegenden Daten ergeben im Quervergleich mit anderen Beobachtungen die Aussage, daß die vorhandenen Konzentrationen an Hg, Cd und Zn kein Hindernis für die Errichtung von Donaustaufen darstellen. Diese Aussage ist ein Werturteil, das auf den vorhandenen Unterlagen aufbaut.
- (9) Der bisher beschrittene Weg zur Minimierung des Frachtereintrages sollte weiter verfolgt werden bei uns wie im gesamten Einzugsgebiet.
- (10) Es erscheint zweckmäßig, über eine gewisse Zeit hinweg die Probennahme sowohl räumlich als auch zeitlich zu intensivieren, um über einen besseren Grundstock an Daten zur Bewertung zu verfügen. Unter räumlicher Intensivierung ist dabei eine Ausdehnung der Erhebungen über eine größere Zahl von Meßstellen längs des Fließweges, entlang eines Staupraumes, als auch an Querprofilen (z.B. bei bestehenden Donaustaufen), unter zeitlicher Intensivierung eine bessere Auflösung entlang der Zeitachse (z.B. größere Zahl von Einzelproben bzw. Entnahme von Mischproben) zu verstehen.

Als durchaus wünschenswert ist auch die Erfassung dynamischer Vorgänge (z.B. Tagesgänge, Hochwasserwellen) zu betrachten. Sobald Klarheit über die vorhandenen Schwankungen besteht, sollte die Probennahme auf das erforderliche Mindestmaß wieder eingeschränkt werden. Die Beprobung sollte dabei sowohl die gelöste Probe, die gesamte Probe, das Sediment wie auch maßgebende Organismen der Nahrungskette umfassen.

Die Datenauswertung erscheint uns im Vergleich zur Probennahme als eine gleichrangige Aufgabe. Ziel der Aufgabenstellung kann dabei nur sein, die Herkunft und den Verbleib der Schwermetalle zu erfassen, um fallweise besser eingreifen zu können (national, international)

Der bisher beschrittene Weg der Minimierung des Abstoßes an der Quelle sollte unabhängig von der vorgeschlagenen Beprobung konsequent weiterverfolgt werden.

Kurzfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist der Versuch, ausgewählte Schwermetalle an der österreichischen Donau (gesamte Wasserprobe, Sediment, Fischmuskel) zu beurteilen.

Die mit 1 Abbildung und 13 Tabellen versehene Bearbeitung zeigt, daß anhand des vorhandenen, als gültig erachteten Datenmaterials

die Konzentrationen der ausgewählten Schwermetalle Hg, Cd, Pb und Zn in der Spanne 1976 – 1979 auf 1984 deutlich zurückgegangen sind. (Ähnliches gilt für den Rhein und die Sedimentkartierung an anderen deutschen Flüssen.);

keine deutliche Anreicherung im Sediment und im Fischmuskel bei Normierung auf Zn = 100 % erkennbar ist;
kein wesentlicher Eintrag durch die Abwässer von Wien erfolgt;

der Zustand der österreichischen Donau ähnlich ist wie jener der deutschen Donau, des Mains oberhalb von Aschaffenburg oder des Neckars (Vorhandensein von Stauhaltungen)

Anhand dieser Befunde und zusätzlicher Überlegungen wird der Aufstau der Donau auch unterhalb von Wien als zulässig erachtet.

Zusätzlich wird ein zeitlich befristetes Programm zur Abklärung der Situation vorgeschlagen.

SUMMARY

The heavy metal content of the water of the Danube in Austria; a preliminary judgement according to a data base of Hg, Cd, Pb and Zn

The purpose of this paper is a trial to assess and evaluate the situation of selected heavy metals (unfiltered water sample, sediment, fish muscle) along the Austrian reach of the River Danube.

The work shows, assuming that the data represent real values, that: the concentration of selected heavy metals (Hg, Cd, Pb, Zn) decreased in the period 1976 1977 to 1984 (similar observations have been made for the River Rhine and for sediments of other German Rivers); there is

no pronounced accumulation of Zn in the sediment and fish tissue; there is no pronounced increase caused by the discharge of the Vienna waste waters; the situation in the Austrian reach is similar to the one on the German reach, to the River Main upstream of Aschaffenburg and to the River Neckar (all these reaches are dammed)

Based on these findings and additional reasoning, we suggest that the situation for heavy metals allows the damming of the River Danube downstream of Vienna.

We suggest, however, the establishment of a monitoring programme limited in time to ascertain these findings.

Literatur

- BAYER.LANDESAMT für Wasserversorgung und Gewässerschutz (1972): Gewässerschutz in Bayern Bestandsaufnahme und Sanierungsprogramm.-
- DWORSKY,R., EBNER,F., GAMS,H.,OTTENDORFER,L. (1973): Untersuchungen über den Quecksilbergehalt in österreichischen Oberflächengewässern.- ÖAR, 22-27
- EBNER,F., GAMS,H. (1973): Schwermetalle in der österreichischen Donau.- ÖAR, 47-48.
- (1984): Schwermetalluntersuchungen in der Donau im Zeitraum 1976-1984.- Wasser und Abwasser Bd.28, 105-133.
- EBNER,F , GAMS,H., OTTENDORFER,L. (1972): Die Bestimmung von Schwermetallen in österreichischen Oberflächengewässern.- ÖAR, 53-59.
- EMDE,W.v.d., FLECKSEDER,H., MATSCHÉ,N. (1979): Gewässergütefragen der österreichischen Donau Wassergütwirtschaftliches Grundsatzkonzept.- Hsg. BMLF, Wien, WWK.
- FÜRSTNER,U., WITTMANN,G.T. (1981) Metal Pollution in the Aquatic Environment.- Vlg. Springer,Berlin-Heidelberg-New York.

- GÄCHTER, R. et al. (1979): MELIMEX - An experimental heavy metal pollution study.- Schweiz Z Hydrol 41,165-314.
- INTERNAT.KOMMISSION zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigungen (1984): Zahlentafeln.- Hsg. IKSR
- KAISER, R., GOTTSCHALK, G. (1972): Elementare Tests zur Beurteilung von Meßdaten. (Soforthilfe für statistische Tests mit weniger Meßdaten).- BI-Hochschultaschenbücher Bd.774.
- KRALIK, M., SAGER, M. (1986): Schwermetalle in Donau- und Donaukanalsedimenten in und östlich von Wien eine Vorstudie.- Öst Wasserw 38.Jg., 8-14.
- MÜLLER, G. (1985) Unseren Flüssen geht's wieder besser Weniger Schwermetalle im Sediment.- Bild der Wissenschaft, H.10.
- SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT: Verordnung über Abwasserreinleitungen Stand v. 1.Oktober 1980.SR 814,225.21.

Anschrift des Verfassers: Univ.-Doz.Dipl.-Ing.Dr.techn.Hellmut FLECKSEDER, M.S.,
Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau, Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13, A-1040 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [1986](#)

Autor(en)/Author(s): Fleckseder Helmut

Artikel/Article: [Schwermetalle in der österreichischen Donau - Versuch einer Beurteilung anhand der vorhandenen Daten für Hg, Cd, Pb u. Zn. 483-509](#)