

Sedimentgeologische Untersuchungen an Stauraumsedimenten der Mur: Eine Vorstudie am Beispiel der Staustufe Mellach

Von Alois FENNINGER, Karl STATTEGGER, Pius MANSER, Norbert PLASS
und Robert SCHOLGER

Mit 8 Abbildungen und 2 Tabellen (im Text)

Eingelangt am 1. Februar 1988

Zusammenfassung: In einer Vorstudie im Rahmen der sedimentgeologischen Untersuchungen von steirischen Fließgewässern wurden ausgehend von methodischen Überlegungen im Stauraum Mellach folgende Daten erarbeitet: Korngrößenanalysen (Abb. 4, 5; Tab. 2), mineralogische Zusammensetzung (Abb. 6), organischer Anteil, Gehalt an den Schwermetallen Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb und Zn in der Tonfraktion (Abb. 7, 8). Die Sedimente sind stark mit Cu, Pb und Zn belastet.

1. Einleitung

Mit der verstärkten Sorge um die Umwelt sind in den letzten Jahren aktuogeologische Fragestellungen stärker in das Bewußtsein der Öffentlichkeit gelangt. Stand vor Jahren beispielsweise nur die Frage des Nachweises anthropogener Kontamination von Gewässern, deren Sedimenten oder des Bodens im Vordergrund, so zeigte sich sehr bald, daß dieser Problembereich nicht allein durch geochemische Daten ausreichend beurteilt werden kann, sondern daß zur Erfassung der Gesamtproblematik auch Fragen der Sedimentgeologie, wie die Bestimmung der Sedimentationsrate, der Sedimentan- und -umlagerung und deren Mechanismen, die Sedimentzusammensetzung sowie die Unterscheidung von Sedimentations- und Erosionsbereichen gehören.

Bedingt durch das jahreszeitlich gesteuerte Wechselspiel von sich ändernden An- und Umlagerungsmechanismen ist daher zur Abschätzung des Kontaminationsgrades von Fließgewässern aus der Analyse ihrer Sedimente nicht allein die Beurteilung von Oberflächenproben entscheidend, sondern auch die von Bohrkernen. Sie geben den wahren Grad der Umweltbelastung an und zeigen uns gleichzeitig den Zustand der Belastung über einen längeren Zeitraum. Aufgrund der bisherigen internationalen Untersuchungen kann zur Abschätzung des Kontaminationsgrades die Bindung der Schwermetalle an die Tonanteile eines Sedimentes (< 2 My) als geeigneter Gradmesser für die Belastung eines Gewässers angesehen werden. Solche Daten liefern auch gleichzeitig aufgrund der oben angeführten Argumente einen Mittelwert für die Verunreinigung über einen längeren Zeitraum hinweg (FÖRSTNER & WITTMANN 1979).

Zur Abschätzung des Kontaminationsgrades von Fließgewässern werden vorwiegend folgende Gruppen von Umweltchemikalien herangezogen (MÜLLER 1986):

1. Schwermetallverbindungen
2. Radionuklide
3. Halogenierte Kohlenwasserstoffe
4. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
5. Mineralölprodukte

Das Schwergewicht unserer Untersuchungen liegt bei den Schwermetallen. Nach den Richtlinien der amerikanischen Umweltschutzbehörde bzw. der europäischen Gemeinschaft (vgl. KRAUS 1986) wurden vor allem die Metalle Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei, Zink, Chrom, Arsen, Eisen und Mangan in eine Prioritätenliste der Schadstoffe aufgenommen. Mit ihr läßt sich der Kontaminationsgrad eines fließenden Gewässers durch Spurenelemente ausreichend beschreiben.

Da Stauräume Bereiche hoher Sedimentakkumulation sind, wobei zu deren Ablagerung verschiedene Mechanismen beitragen (Bildung von Seedeltas, Rinnensedimente, Trübeströme etc.) erschien uns die Vorstudie an Stauraumsedimenten in Großstadtnähe besonders geeignet zur Erfassung des komplexen Wechselspiels von Anlagerung, Umlagerung und Kontamination fluviatil transportierter Sedimente. Aufgrund dieser Kriterien wurde der Stauraum Mellach südlich von Graz ausgewählt.

Die sowohl geogen als auch anthropogen gesteuerte Anreicherung von Schwermetallen läßt sich am besten an Flußsedimenten und Böden erkennen. Dabei wird der überall vorhandene geogene „background“ durch anthropogenen Eintrag verstärkt. Die anthropogene Belastung übersteigt die geogene in den meisten Fällen um ein Vielfaches (MERIAN 1984).

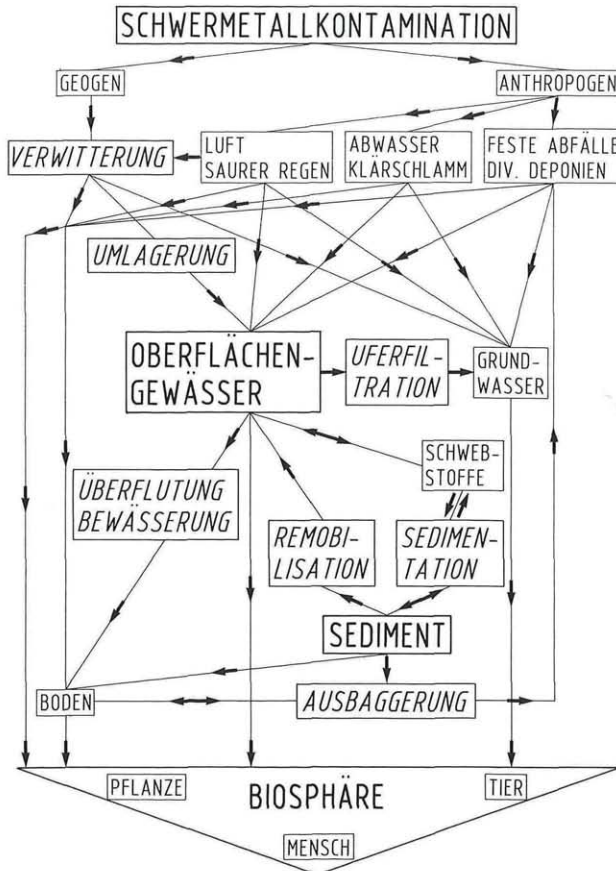


Abb. 1: Wirkungswege von Schwermetallen: neben dem Boden sind Oberflächengewässer und deren Sedimente Hauptempfänger.

In Abbildung 1 stellen wir die Wirkungswege von Schwermetallen auf Oberflächengewässer und deren Sedimente, Grundwasser und Boden dar (vergl. auch KÖNIG & KRÄMER 1985, MÜLLER 1983). Durch verschiedene Vorgänge gelangen Schwermetalle vorrangig in die Biosphäre und können zu einer Belastung der Organismenwelt werden. Den Prozessen, welche die Aufnahme von Schwermetallen steuern, kommt besondere Bedeutung zu. Neben geogenen Prozessen wie Verwitterung und Sedimentation sind Eingriffe durch den Menschen wie Bewässerungsmaßnahmen etc. zu nennen. In Abbildung 1 sind die wichtigsten Vernetzungen des überaus komplexen Wirkungsgefüges enthalten.

2. Methodischer Ansatz

Die komplexe Wirkungsweise von Schwermetallen, wie sie aus Abbildung 1 hervorgeht, bedingt grundsätzliche Überlegungen zur Entnahme, Aufbereitung und Analytik des Probenmaterials. Abbildung 2 zeigt ein generelles Schema der Probenbehandlung und Auswertung für unsere weiteren Untersuchungen an Sedimenten steirischer Oberflächengewässer. Das Schema soll verdeutlichen, daß nur eine Verbindung von sediment-

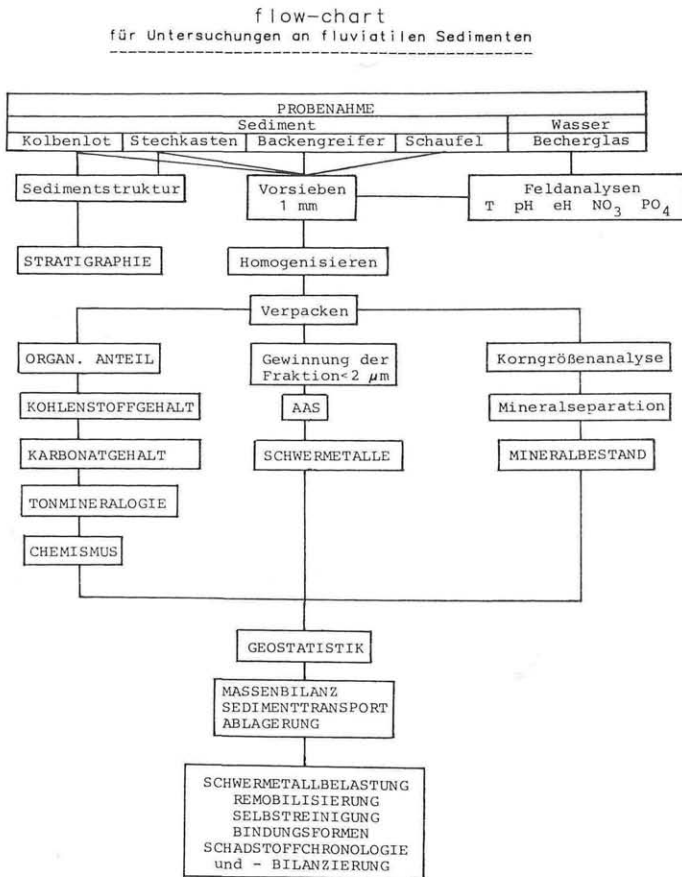


Abb. 2: Vereinfachtes Schema der Probenbehandlung und -auswertung für die Untersuchung an Sedimenten von Oberflächengewässern.

geologischen und geochemischen Methoden den Problembereich angemessen erfassen kann. Erst dadurch können aktuogeologische Fragen wie Sedimentationsrate, Sedimentumlagerung, Unterscheidung von Sedimentations- und Erosionsbereichen sowie Kontaminationsprobleme ausreichend charakterisiert werden. Eine optimale Abstimmung verschiedener Untersuchungsmethoden soll ausgehend von einer gezielten Probenahme mit Hilfe geostatistischer Methoden die nachfolgend angeführten Aussagen ermöglichen:

1. Massenbilanz, Transport und Ablagerungsmechanismen fluvialer Sedimente.
2. Geogene und anthropogene Schwermetallbelastung in Verbindung mit Schadstoffchronologie und -bilanzierung.

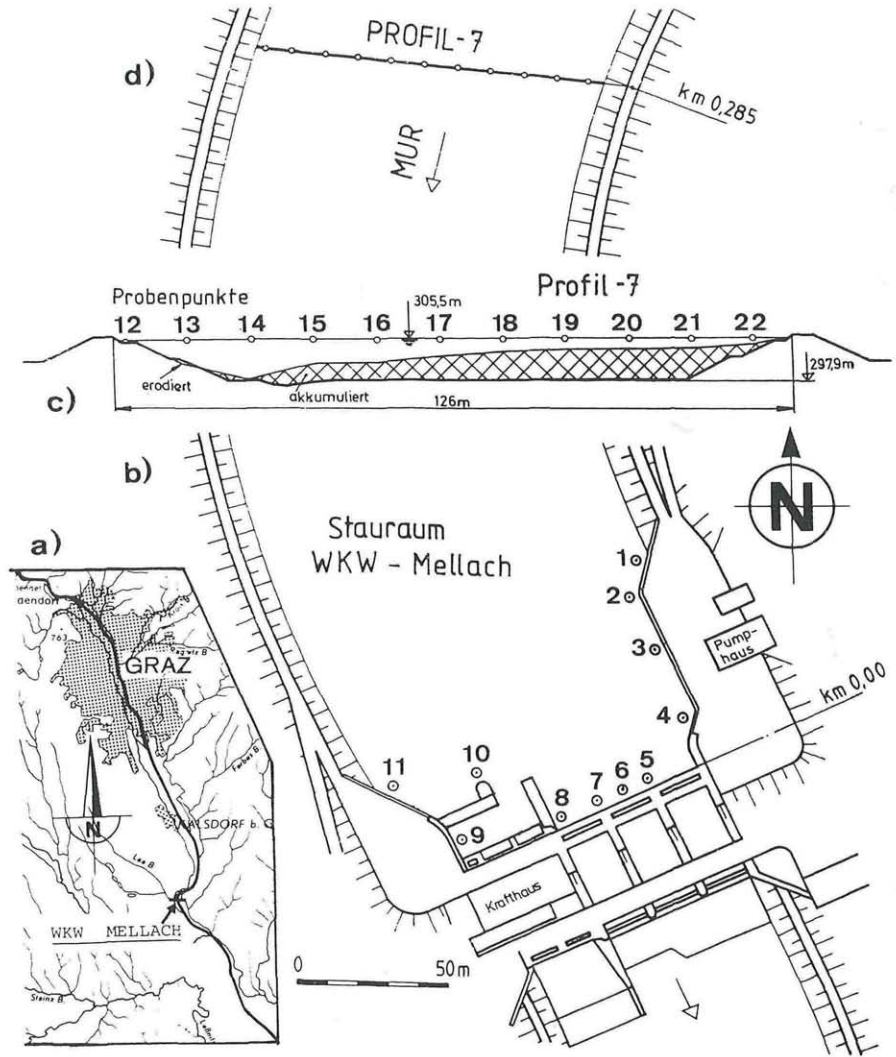


Abb. 3: a) Lageplan des WKW Mellach.

b) Skizze des Wehrbereiches mit den Probenpunkten 1-11.

c) Profil 7 mit den Probenpunkten 12-22; 285 m flüßaufwärts der Wehrmauer gelegen.

d) Lageplan des Profils.

3. Bindungsform und Remobilisierung von Schwermetallen; Selbstreinigungsvermögen der Gewässer.

Für unsere Untersuchungen haben wir uns, dem internationalen Trend folgend, entschieden, vorwiegend die Korngrößenfraktion $< 2 \text{ My}$ zur Erfassung der Schwermetallgehalte zu analysieren, da vor allem die Tonminerale in Abhängigkeit von der jeweiligen Ionenaustauschkapazität aufgrund ihrer großen spezifischen Oberfläche in der Lage sind, Schwermetall-Kationen zu sorbieren (FÖRSTNER & MÜLLER 1974). Darüber hinaus ist eine direkte Vergleichsmöglichkeit mit den derzeit laufenden Untersuchungen an österreichischen Donausedimenten gegeben (KRALIK & SAGER 1986).

Bei der Abschätzung des natürlichen Schwermetallhintergrundes folgen wir FÖRSTNER & MÜLLER 1974 und MÜLLER 1985. Zusätzlich sind eigene Untersuchungen zur Bestimmung des präzivilisatorischen backgrounds in Arbeit. Grundlage ist der sogenannte Geo-Akkumulations-Index (I_{geo}), das Verhältnis von geogenem Gehalt und anthropogener Belastung in sieben Klassen skaliert, der die Sedimentqualität hinsichtlich ihrer Schwermetallbelastung angibt. Die höchste Stufe stellt eine mehr als hundertfache Anreicherung gegenüber dem geogenen Gehalt dar.

3. Stauraum WKW-Mellach, Probennahme

Im Bereich des 1985 in Betrieb genommenen Wasserkraftwerkes Mellach, südlich von Graz, wurden 22 Proben entnommen: 11 Proben stammen aus dem unmittelbaren Wehrbereich, 11 Proben repräsentieren ein 285 m flußaufwärts gelegenes 122 m langes Querprofil im 3,4 km langen Stauraum (vergl. Abb. 3). Die technischen Daten dieses Wasserkraftwerkes gehen aus Tabelle 1 hervor. Die Probennahme erfolgte am 17. 10. 1986 bei Schönwetter (Stufe 0 nach dem ICES-Schlüssel). Zur Untersuchung des Schwermetallgehaltes wurden benachbarte Proben zu insgesamt 7 Mischproben zusammengefaßt. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

1. Wassertemperatur
2. pH-Wert der Suspension
3. Erfassung der Sedimentanlagerung zur Zeit der Probennahme
4. Korngrößenverteilung und deren Parameter
5. Leicht- und Schwermineralverteilung
6. Röntgenographische Untersuchungen
7. Karbonatgehalt
8. Organischer Anteil
9. Schwermetalle: Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb und Zn.

Tab. 1: Technische Daten des WKW Mellach (STEWEG 1984).

WKW Mellach	
Baubeginn	April 1982
Inbetriebnahme	Frühjahr 1985
Stauraumlänge	3,4 km
Lage	Mur-km 159,09
Stauziel	305,5 ÜNN
Mittl. Jahreswasserfracht	3900 km ³
Mittl. Zufluß	124 m ³ /s
Hundertjähr. Hochwasser	1200 m ³ /s
Katastrophen-Hochwasser	1650 m ³ /s

Proben-Nr.	Mean	Sortierung	Skewnes	Kurtosis
1	7,396	2,332	0,029	2,035
2	7,644	2,193	-0,095	2,327
4	8,258	1,887	0,056	1,922
5	7,299	2,237	0,210	2,145
6	7,298	2,243	0,015	2,244
7	7,833	1,815	0,398	2,102
8	8,073	1,915	0,088	1,994
11	7,565	2,205	0,018	2,106
12	3,599	2,283	1,720	5,471
13	7,338	2,280	-0,092	2,170
14	4,578	2,916	0,852	2,423
15	7,234	2,303	0,046	2,047
16	6,300	2,464	0,547	2,110
17	7,335	2,325	0,050	1,990
18	7,039	2,354	0,062	1,990
19	7,293	2,329	-0,039	2,158
20	7,327	2,185	0,092	2,125
21	7,233	2,008	0,225	2,406
22	7,668	2,037	-0,003	2,382

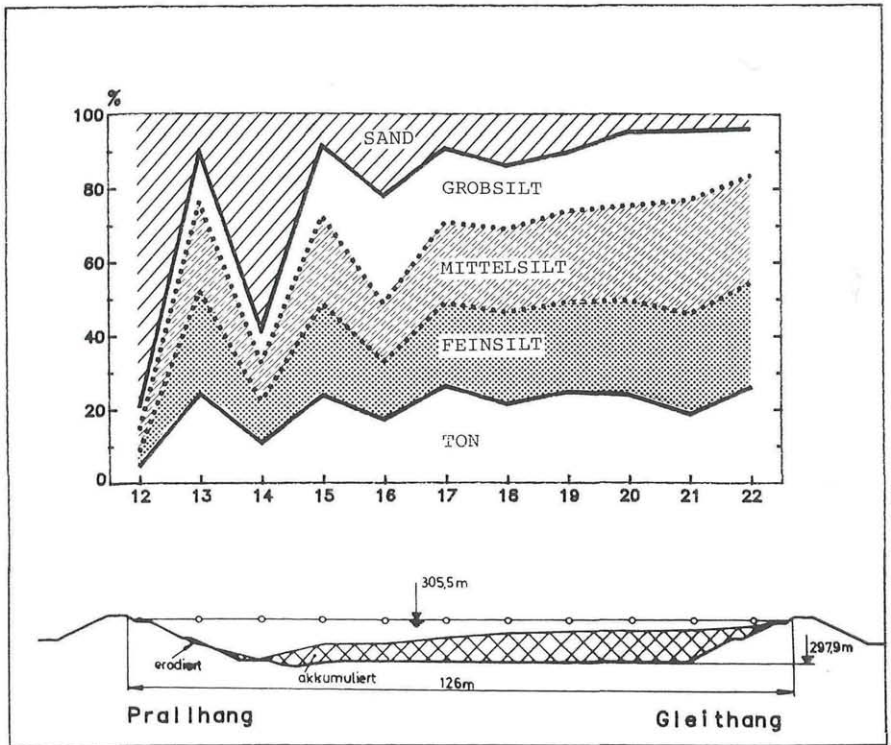


Abb. 4: Korngrößenzusammensetzung im Profil 7, Probenpunkte 12–22. Korngrößenintervalle nach MÜLLER 1964.

4. Ergebnisse

Die pH-Werte der Suspension der bei 10° C Wassertemperatur gezogenen Proben schwanken zwischen 6,0 und 7,3. Zur Zeit der Probennahme nahm im Querprofil die Sedimentakkumulation in Richtung Gleithang kontinuierlich von 0 auf 5,4 m Mächtigkeit am Fuß der Uferböschung zu. Die mittlere Sedimentanlagerung lag bei 3,6 m. Am Prallhang wechselten Bereiche geringmächtiger Sedimentanlagerung mit Bereichen schwacher Erosion ab (vergl. Abb. 3c).

Die Korngrößenverteilungen der untersuchten 22 Proben zeigen, daß die Sedimente vorwiegend aus Silten bestehen. Die wichtigsten Korngrößenparameter sind in Tabelle 2 enthalten, die Veränderung der Korngrößenzusammensetzung über das Querprofil hinweg in Abbildung 4. Im Bereich des höher energetischen Prallhangs (hier liegt die Hauptströmungsrinne) nimmt naturgemäß die Sandkomponente zu und erreicht maximal 79% der Gesamtfraktion. Im Gleithang, wie auch im Wehrbereich liegt der Sandanteil generell unter 10%. Typische Korngrößenverteilungen zeigt Abbildung 4 (Proben 7, 22, 14, 12): Während der Anteil der Tonfraktion im Prallhangbereich zwischen 5 und 11% liegt (Proben 12 und 14), steigt dieser am Gleithang auf über 20% an.

4.1. Mineralogie

In der Sandfraktion besteht der Schwermineralanteil bei den durchsichtigen Mineralen zu 80 bis 90% aus Granat und Hornblende, der Rest aus Epidot (bis 19%), Rutil (bis 4%), Ankerit/Siderit (bis 3%), Turmalin (bis 2%), Apatit (bis 2%) und vereinzelt Zirkon, Disthen, Chloritoid, Titanit und Staurolith (siehe Abb. 6). Der Opakanteil beträgt durchschnittlich 25%. Dieses Schwermineralspektrum weist auf das metamorphe Liefergebiet (Muralpenkristallin, FLÜGEL & NEUBAUER 1984) hin.

Bei den Leichtmineralen dominiert Quarz. Kalifeldspat und Plagioklas sowie Chlorite treten in geringen Prozentsätzen auf.

Die röntgenographischen Untersuchungen an der Fraktion < 40 My ergaben, daß Kaolinit und Chlorit neben Illit/Muskovit dominieren. Daneben tritt in allen Proben in unterschiedlicher Häufigkeit wahrscheinlich mineralisierte organische Substanz auf. Nach ersten Übersichtsuntersuchungen könnte es sich um Weddelit handeln. Quarz konnte nur in wenigen Proben in Spuren nachgewiesen werden. Da die röntgenographischen Daten keinerlei Hinweise auf höhere Karbonatanteile brachten, wurde auf die Bestimmung des Karbonatgehaltes verzichtet.

4.2. Organische Substanz

Der Gehalt an organischer Substanz ist wie zu erwarten im Staubereich hoch und liegt im Schnitt über 10%. Lediglich die Proben 12 und 14, Sedimente des Stromstriches, haben einen geringeren Anteil (bis 4%). Da organische Substanzen zu Schwermetallen eine große Affinität haben, messen wir deren Erfassung im Zuge unserer weiteren Untersuchungen große Bedeutung bei (SINGER 1977). Dies wird bei der Beurteilung des Kontaminationsgrades der Stauraumsedimente im Vergleich zu Sedimenten in ungestauten Bereichen von großer Wichtigkeit sein, da in Wässern, die reich an organischer Substanz sind, Schwermetalle durch kombinierte Reduktions- und Komplexbildungsvorgänge gelöst werden und die Aufnahme in die Feststoffphasen durch Adsorption, Flockung, Polymerisation und Fällung erfolgt (FÖRSTNER 1981).

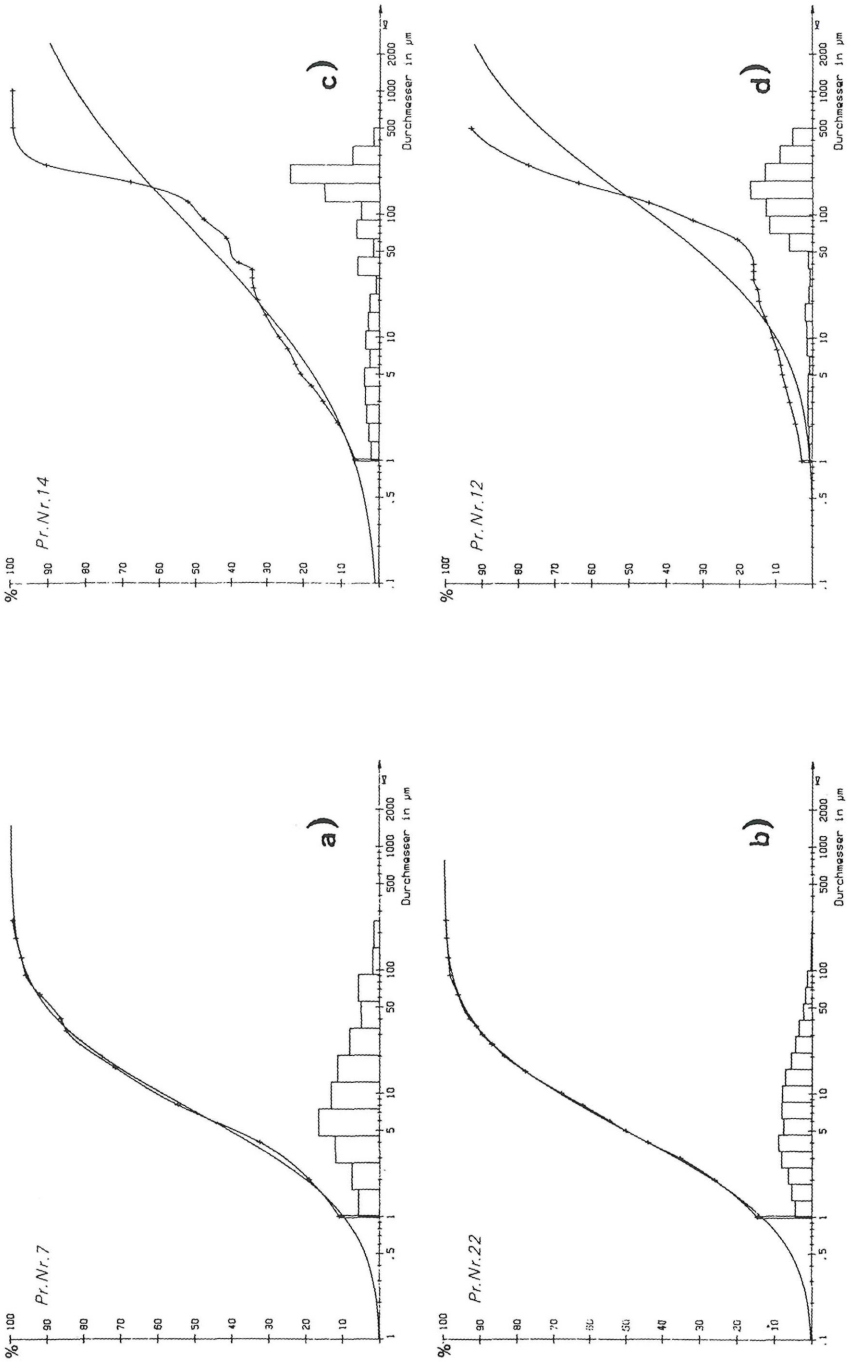


Abb. 5: Kornsummenkurven, Durchgang in %: a) Probe 7, unmittelbarer Wehrbereich b) Probe 22, Gleithang c) Probe 14, Stromtrieb d) Probe 12, Stromtrieb

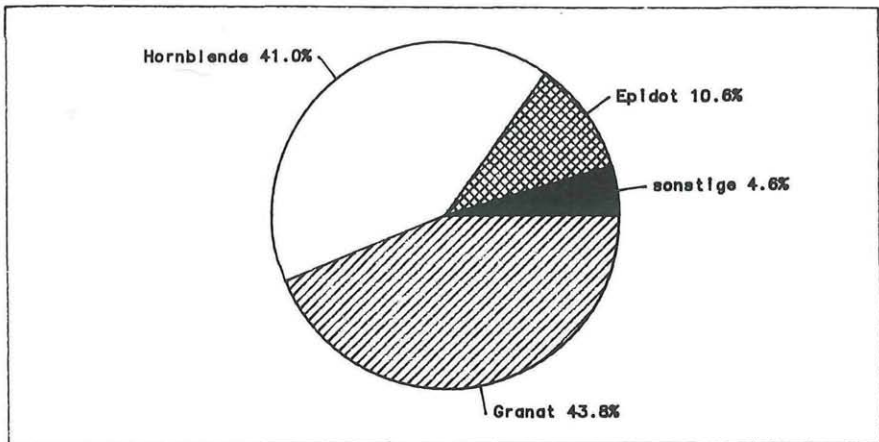


Abb. 6: Durchschnittlicher Schwermineralgehalt, durchsichtige Minerale. Sonstige: Apatit, Disthen, Turmalin, Zirkon, Rutil, Ankerit/Siderit.

4.3. Schwermetalle

Im Zuge unserer Voruntersuchungen wurden jeweils drei bis vier Proben zu einer repräsentativen Sammelprobe zusammengefaßt: A: 1-4; B: 5-7; C: 8-11; D: 12-14; E: 15-17; F: 18-20; G: 21-22. Nach einem Salpeter/Salzsäure-Aufschluß erfolgte die Bestimmung der Schwermetalle mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) (KLEIN & PIRKL 1986). Die Sammelproben wurden auf die Schwermetalle Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb und Zn untersucht. In Abbildung 7 sind die Absolutwerte der untersuchten Schwermetalle, in Abbildung 8 der Geoakkumulationsindex dargestellt. Mit Ausnahme von Co sind die Schwermetallgehalte im Querprofil geringfügig höher als im Wehrbereich. Während bei Cr, Ni und Zn die Unterschiede zwischen den einzelnen Proben gering sind, können bei Co, Cu, Mn und Pb beträchtliche Schwankungen auftreten. Erwähnenswert sind die stärker erhöhten Cu-Werte in den Proben der Sedimente des Stromstriches sowie die niedrigeren Werte im Schleusenbereich (Abb. 8).

Die normierten Schwermetallgehalte bezogen auf den Geoakkumulationsindex zeigen folgende Belastung des Sediments an (vergl. MÜLLER 1985): Chrom und Mangan: unbelastet (I_{geo} -Klasse 0). Kobalt und Nickel: unbelastet bis mäßig belastet (I_{geo} -Klasse 1). Kupfer und Zink sind der I_{geo} -Klasse 3 (mäßig bis stark belastet) und Blei der I_{geo} -Klasse 4 (stark belastet) zuzuordnen. Dies bedeutet, daß zumindest drei der untersuchten Schwermetalle das Sediment deutlich kontaminieren.

Im Vergleich zu den österreichischen Donausedimenten (KRALIK & SAGER 1986) an der Fraktion < 2 My sind die Cu-, Zn- und Pb-Werte aus dem Stauraum Mellach deutlich erhöht. Ein Vergleich mit den Schwermetallgehalten in Sedimenten oberösterreichischer Fließgewässer (MÜLLER & WIMMER 1987) ist derzeit aufgrund der anders gewählten Kornfraktion nicht möglich. Auch in den Fließgewässern der BRD (MÜLLER 1985) treten mit Ausnahme der Elbe und teilweise im Unterlauf des Rheins geringere Belastungen durch Cu, Pb und Zn auf.

5. Ausblick

Die in dieser Vorstudie vorgelegten methodischen Ansätze und Ergebnisse verdeutlichen, daß unsere Untersuchungen eine Abschätzung industrieller, gewerblicher und

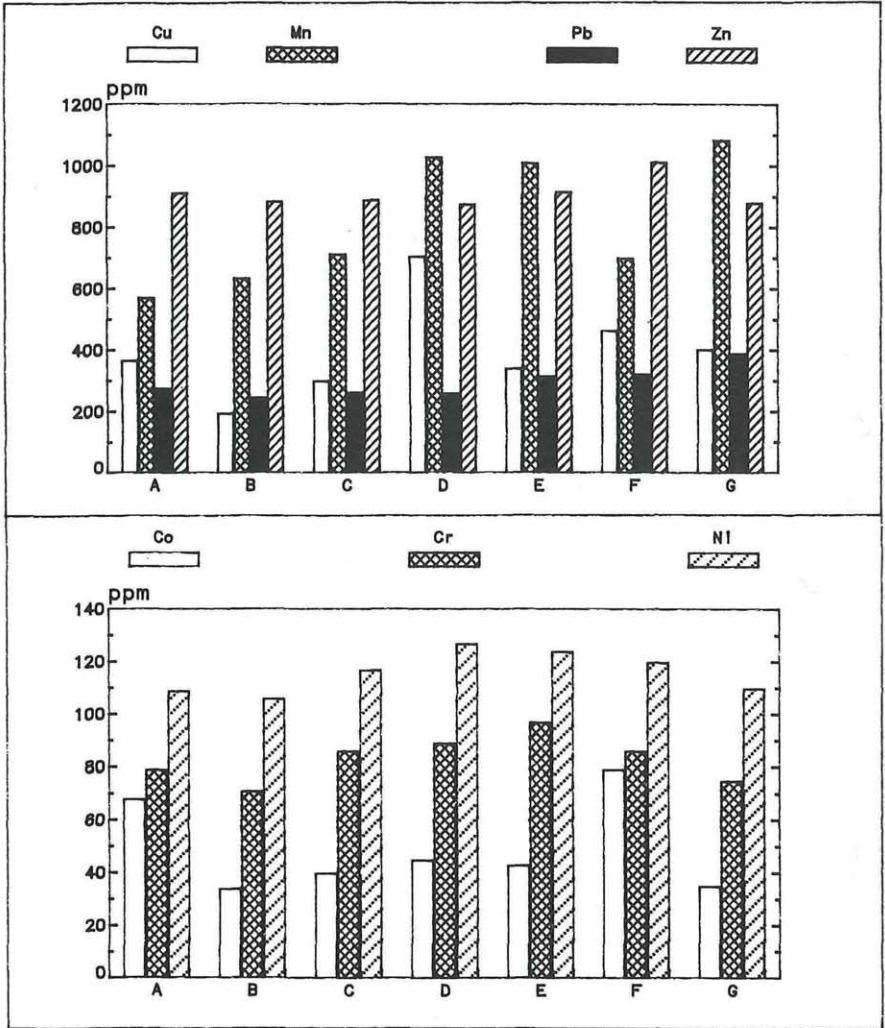


Abb. 7: Schwermetallgehalte der Sammelprouen A-G. Cu in den Sedimenten des Stromstriches erhöht; Sedimente des Schleusenbereiches zeigen generell niedrigere Schwermetallgehalte.

kommunaler Emissionen von Schwermetallen ermöglichen. Sie stehen am Anfang einer detaillierten Untersuchung steirischer Fließgewässer. Die Bearbeitung des Murverlaufes zwischen Judenburg und Spielfeld ist in Arbeit. Weiterführende Interpretationen scheinen erst nach Vorliegen dieses umfangreichen Datenmaterials und methodischer Erweiterungen der Untersuchungen sinnvoll.

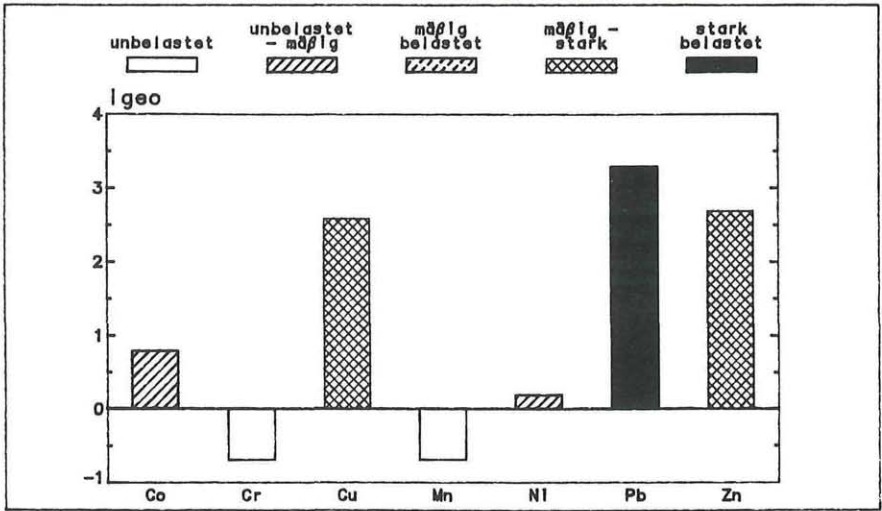


Abb. 8: Geoakkumulationsindex, I_{geo} , nach MÜLLER 1985. Durchschnittswerte aus den Sammelproben A-G; vergl. Abb. 7.

Dank

Neben der Genehmigung zur Durchführung der Geländearbeiten danken wir der STEWEAG (Dipl.-Ing. H. GEYMAYER) für die Bereitstellung der Planungsunterlagen des WKW Mellach. Korngrößenanalysen der Silt- und Tonfraktion sowie die Röntgendiffraktometeraufnahmen der Gesamtfraction wurden am Institut für Technische Geologie, Petrographie und Mineralogie der Technischen Universität Graz (Prof. Dr. G. RIEDMÜLLER, Dr. K. KLIMA) durchgeführt, die AAS-Analysen an der Geologischen Bundesanstalt Wien bei Dr. P. KLEIN, dem wir auch für die Einführung in die AAS-Analytik danken.

Literatur

- FLÜGEL, H. W. & NEUBAUER, F. (1984): Steiermark – Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark. 1:200.000. – Geol. B. – A., Wien.
- FÖRSTNER, U. (1981): Umweltchemische Analyse und Bewertung von metallkontaminierten Schlämmen. – Chemiker – Z., 105: 165–174, Heidelberg.
- FÖRSTNER, U. & MÜLLER, G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. – 225 S., Springer, Berlin–Heidelberg–New York.
- FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G. T. W. (1979): Metal Pollution in the Aquatic Environment. – 486 S., Springer, Berlin–Heidelberg–New York.
- KLEIN, P. & PIRKL, H. (1986): Schwermetalle in Böden. – Mitt. Österr. Geol. Ges., 79: 143–162, Wien.
- KÖNIG, W. & KRÄMER, F. (1985): Schwermetallbelastung von Böden und Kulturpflanzen in Nordrhein-Westfalen. – Schriftenr. Landesanst. Ökol. landschaftsentw. Forstpl. Nordrhein-Westfalen, 10, 160 S., Münster.
- KRALIK, M. & SAGER, M. (1986): Schwermetalle in Donau- und Donaukanalsedimenten in und östlich von Wien. Eine Vorstudie. – ÖWW, 38: 8–14, Wien.
- KRAUS, H. (1986): Auswirkungen der neuen Trinkwasser-Verordnung auf die Wasserversorgung der Bundesrepublik Deutschland. – ÖWW, 38: 194–198, Wien.
- MERIAN, E. (Hrsg.) (1984): Metalle in der Umwelt; Verteilung, Analytik und biologische Relevanz. – 772 S., Weinheim.
- MÜLLER, G. (1964): Methoden der Sedimentuntersuchung. – 303 S., Stuttgart.
- MÜLLER, G. (1983): Flüsse – vom Menschen vergiftet. – Bild. Wiss., 20: 95–100, Stuttgart.
- MÜLLER, G. (1985): Unseren Flüssen geht's wieder besser. – Bild. Wiss., 10: 75–97, Stuttgart.
- SINGER, O. C. (1977): Influence of dissolved organics on the distribution, transport, and fate of heavy metals in aquatic systems. – In: SUFFET, I. H. (Ed.): Fate of Pollutants in the Air and Water Environment, 155–182, New York.
- STEWEG (1984): WKW Mellach. – Graz.

Anschrift der Verfasser: Institut für Geologie und Paläontologie
Karl-Franzens-Universität Graz
Heinrichstraße 26, A-8010 Graz