

III. WISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Einflußfaktoren der Schwermetallkontamination der Sedimente der Mürz (Steiermark)

Von Manfred MESSNER

Mit 23 Abbildungen und 10 Tabellen

Angenommen am 10. Juli 1995

Zusammenfassung: Zur Erfassung der Schwermetallbelastung der Sedimente der Mürz wurden 1991 die Sedimente der Mürz äquidistant zwischen Bruck/Mur und Mürzzuschlag beprobt. Die Proben wurden auf sedimentologische Parameter und auf die Konzentrationen der Elemente Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb und Zn untersucht.

Die höchsten Gehalte in Relation zum geogenen Background waren bei den Elementen Cr und Ni feststellbar. Diese Elemente sind aber hauptsächlich partikulär gebunden – die Analyse der magnetischen Fraktion ergab Konzentrationen von mehreren tausend ppm; diese Elemente sind aber auf Grund der Bindungsform für die Biosphäre nur wenig relevant (PLASS, 1990; SCHOLGER, 1990; MANSER, 1991; WEINZIERL & FENNINGER, 1991). Die Konzentrationen von Pb, Cu und Zn sind zwar noch unter dem Grenzwert für landwirtschaftlich genützte Böden, sind aber auf Grund des hohen Anteils an leichtlöslichen Verbindungen und unter dem Blickpunkt der Akkumulation von Schwermetallen in der Biosphäre als bedenklich einzustufen.

Zur besseren Interpretierbarkeit der Daten wurde eine R-Modus Faktorenanalyse durchgeführt. Der Faktor mit dem größten Varianzanteil ist mit Cr, Ni und Cu geladen und hat die Schwerindustrie im Mürztal als Ursache, der zweite Faktor besteht aus Cd und Pb und kann der Verbrennung bleihaltiger fossiler Brennstoffe zugeordnet werden, der dritte Faktor besteht vor allem aus Zn und wird als Abrieb von Metallegierungen interpretiert (MERIAN, 1984; FÖRSTNER & WITTMANN, 1989).

Summary: To evaluate heavy metal contamination of the sediments of the river Mürz, the river has been sampled 1991 equidistantly between Bruck/Mur and Mürzzuschlag. Sedimentological parameters and the concentrations of the elements, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn have been determined.

The highest contents of heavy metals in relation to geogene background have been measured at Cr and Ni. These elements are bounded mainly particularly to metal-particles – analysis of the magnetic part resultet in concentrations of several thousands ppm – and therefore of very small relevance for biosphere (PLASS, 1990; SCHOLGER, 1990; MANSER, 1991; WEINZIERL & FENNINGER, 1991). Concentrations of Pb, Cu and Zn are below the limit for agricultural used soils, but are in case of the higher part of easy soluble boundings and on focusing bioaccumulation of heavy metals more serious.

For better interpretation of data a r-mode factor analysis has been done. The factor with the biggest part of variance is loaded with Cr, Ni, Co and Cu and can be assigned to heavy industries in the Mürztal, the second factor contains Cd and Pb and can be assigned to burning of leadbearing fossil fuels, the third factor exists mainly of Zn and is interpreted as rubbing off of metal alloys (FÖRSTNER & WITTMANN, 1989; MERIAN, 1984).

1. Einleitung

Ausgehend von Untersuchungen der Gewässergüte steirischer Fließgewässer (Abschluß 1988) wurde 1988 am Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Graz damit begonnen, die steirischen Fließgewässer auf die Schwermetallbelastung der Sedimente zu untersuchen. Der Vorteil bei der Untersuchung von Sedimenten gegenüber Wasserproben liegt darin, daß nicht nur die Momentbelastung der Gewässer festgehalten wird, sondern die Belastung der Sedimentationsperiode: dadurch wird die

Verfälschung von Werten durch tägliche Schwankungen (Tag-Nacht) und wöchentliche Schwankungen (Werktage-Wochenende) vermieden.

Für eine Beurteilung der Schwermetallkontamination müssen sowohl Sedimentparameter (organischer Anteil, Korngröße, Karbonatgehalt, Tonmineralogie) als auch der geogene Background miteinbezogen werden.

Eine Endbeurteilung der Kontamination bezüglich des Gefährdungspotentials durch die Schwermetalle und ihre Verfügbarkeit ist erst nach der Untersuchung der Bindungsform dieser zulässig (FÖRSTNER & WITTMANN, 1979; FÖRSTNER & al., 1981; FÖRSTNER, 1983; CALMANO & al., 1988; MANSER, 1991). Die Einteilung in Stufen nach einem Geoakkumulationsindex ist aber für einen ersten Überblick ausreichend.

2. Zielsetzung und Organisation

Die Untersuchung der Mur auf Schwermetalle zeigte im Mündungsbereich der Mürz eine starke Erhöhung der Schwermetallwerte (MANSER, 1991). Es konnte gezeigt werden, daß besonders Ni, Cr und Cu an magnetische Partikel gebunden sind, welche ebenfalls nach der Einmündung der Mürz angereichert sind.

Es stellte sich die Aufgabe, die Herkunft der Partikel näher zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde die Mürz von Mürzzuschlag bis Bruck/Mur mit einem äquidistanten Raster (Probenpunktabstand ca. 2 km) beprobt, um ein erstes Monitoring vorzunehmen.

Alle Proben wurden auf sedimentologische Parameter untersucht, um die Kenngrößen des hydrodynamischen Regimes abschätzen zu können. Ausgehend von der Analyse der Herkunftsquellen und Untersuchungen der Bindungsformen der Schwermetalle (WEINZIERL & FENNINGER, 1991) wurde eine Abschätzung des Gefährdungspotentials durchgeführt.

3. Beschreibung des Einzugsgebietes der Mürz

3.1 Geochemie

Die Schwermetallgehalte der einzelnen Gesteine schwanken sehr stark, geogene Anomalien, die den Schwermetallgehalt der Mürzsedimente stärker beeinflussen könnten, treten aber nicht auf (siehe Tab. 1). Da THALMANN die Korngrößenfraktion < 180 µm mit Vollaufschluß analysiert (in dieser Arbeit: Fraktion < 40 µm, Königswasseraufschluß), sind die Schwermetallwerte mit den Werten dieser Arbeit nicht direkt vergleichbar (andere Fraktion, anderer Aufschluß) (MANSER, 1991, THALMANN & al., 1989).

Tab. 1: Schwankungsbereich des Schwermetallgehaltes im Einzugsgebiet und arithmetisches Mittel für die gesamten Ostalpen in ppm (THALMANN & al., 1989).

Element	SM-Gehalte	Mittelwert
Co	10 – 24	17.0
Cu	12 – 46	25.9
Cr	24 – 144	82.3
Fe	1 – 6.6	4.1
Mn	450 – 1900	1000
Ni	20 – 70	37.5
Pb	10 – 38	29.5
Zn	25 – 175	83.3

3.2 Hydrologie

Die Mürz entwässert mit einem Einzugsgebiet von 1512.8 km² ca. neun Prozent der Gesamtfläche der Steiermark (16834 km²). Die Durchflußmenge beträgt in Neuberg/Mürz 6.55 m³/s und steigt bis zur Einmündung in die Mur in Bruck/Mur auf 25 m³/s an (zehnjähriger Durchschnitt von 1971–1980). Die Zuflüsse erreichen ein Einzugsgebiet von maximal 357.7 km² (Thörlbach) (Hydrographisches Zentralbüro (Hrsg.) 1961, Hydrographisches Zentralbüro (Hrsg.) 1984).

Die Flußkilometrierung beginnt in Bruck/Mur mit km 0.0 km und erreicht beim Probenahmepunkt 1 in Mürzzuschlag km 50.1 (Mitteilung des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung Fachabteilung IIIa) (siehe Tab. 2).

Das natürliche Flußregime wurde durch anthropogene Eingriffe stark verändert. Einerseits wurden aus Gründen des Hochwasserschutzes zahlreiche Uferverbauungen durchgeführt, andererseits wurden zur Energiegewinnung Wehranlagen errichtet.

Im untersuchten Flußabschnitt befinden sich auf einer Strecke von 50.1 km 19 Wehranlagen (siehe Abb. 1). Meist wurde nur eine Eintiefung des Flußbettes durchgeführt, Verbreiterungen sind selten. Die Stauhaltungen sind auf einigen Abschnitten (km 40–30, km 25–20, km 8–0) stark konzentriert, wodurch Bereiche, die fast gänzlich gestaut sind, mit Bereichen „natürlichen Flußverlaufs“ wechseln. Durch die starke Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit in den Stauhaltungen werden ausgedehnte Sedimentationsbereiche geschaffen. Bei Hochwässern werden die Stauräume geflutet. Die meisten Wehranlagen besitzen als Stauvorrichtung variabel befüllbare Hohlkörper, die durch die Möglichkeit der völligen Entleerung eine vollständige Flutung möglich machen, wodurch der Großteil des Sediments erodiert und verlagert wird. Bei herkömmlichen Staumauern ist die Sedimentverlagerung wesentlich geringer. Hochwässer treten vor allem zur Zeit der Schneeschmelze und im Hochsommer, bedingt durch starke Niederschläge, auf. Im Bereich der natürlichen Fließstrecke herrschen großteils erosive Bedingungen.

Tab. 2: Einzugsgebiete der Mürz und ihrer Zuflüsse; Schüttungsmengen der Mürz (zehnjähriger Durchschnitt 1971–1980)

Flußkilometer	Einzugsgebiet der Mürz (in km ²)	Zufluß	Einzugsgebiet der Zuflüsse (in km ²)	Schüttungsmenge (m ³ /s)
65.0	223.8			6.55
51.1	332.2	Frörschnitz	92.2	
34.3	424.4	Freßnitz	46.8	
32.2	616.7	Veitschbach	77.5	
23.0	729.3			13.0
18.8	770.7	Stanzbach	115.6	
5.6	1004.2	Thörlbach	357.3	
3.2	1363.5			20.0
2.5	1365.3	Laming	145.1	
0.0	1512.8			25.0

3.3 Bevölkerung

Die Bevölkerung konzentriert sich auf Siedlungsgebiete direkt an der Mürz.

Tab. 3: Einwohnerzahlen der größten Orte im Mürztal (Österreichisches Statistisches Zentralamt (Hrsg.) 1986).

Stadt	Einwohner
Bruck/Mur	11525
Kapfenberg	25716
St. Marein im Mürztal	1421
Kindberg	6261
Krieglach	2564
Langenwang	2573
Mitterdorf im Mürztal	2137
Hönigsberg	2331
Mürzzuschlag	7363
Wartberg im Mürztal	1574

Tab. 4: Kläranlagen im Einzugsgebiet der Mürz nach Mitteilung des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung IIIc, Stand 1989

Gemeinde	Ausbau größe	Art der Kläranlage
Bruck/Mur	30000	biologisch
Aflenz	1900	biologisch
Kapfenberg	32000	biologisch
St. Marein i. M.	24000	biologisch
Ganz	120	biologisch
Langenwang	25500	biologisch
Wartberg	16000	biologisch

Das größte Siedlungsgebiet befindet sich im Raum Kapfenberg. Weitere große Siedlungsgebiete sind Bruck/Mur, Mürzzuschlag, Langenwang, Krieglach, Kindberg und St. Marein (siehe Abb. 1, Tab. 3, 4) (Österreichisches Statistisches Zentralamt (Hrsg.) 1983, Österreichisches Statistisches Zentralamt (Hrsg.) 1984).

3.4 Wirtschaft

Grundlage für dieses Kapitel ist die Volkszählung des Jahres 1981. Die Beschreibung ist als Schätzung für die Präsenz und Wirkung der einzelnen Beschäftigungszweige zu verstehen, da auf Grund der Konjunkturschwankungen, besonders in der Metallindustrie, die Größe der Betriebe und die Produktion dieser ständigen Schwankungen unterliegen. Wie weiter unten gezeigt wird, sind diese Daten für eine grobe Abschätzung ausreichend.

Der Großteil der Beschäftigten im Bereich des Einzugsgebietes der Mürz fällt auf den Sektor Metallverarbeitung, gefolgt von Maschinenerzeugungsbetrieben (welche

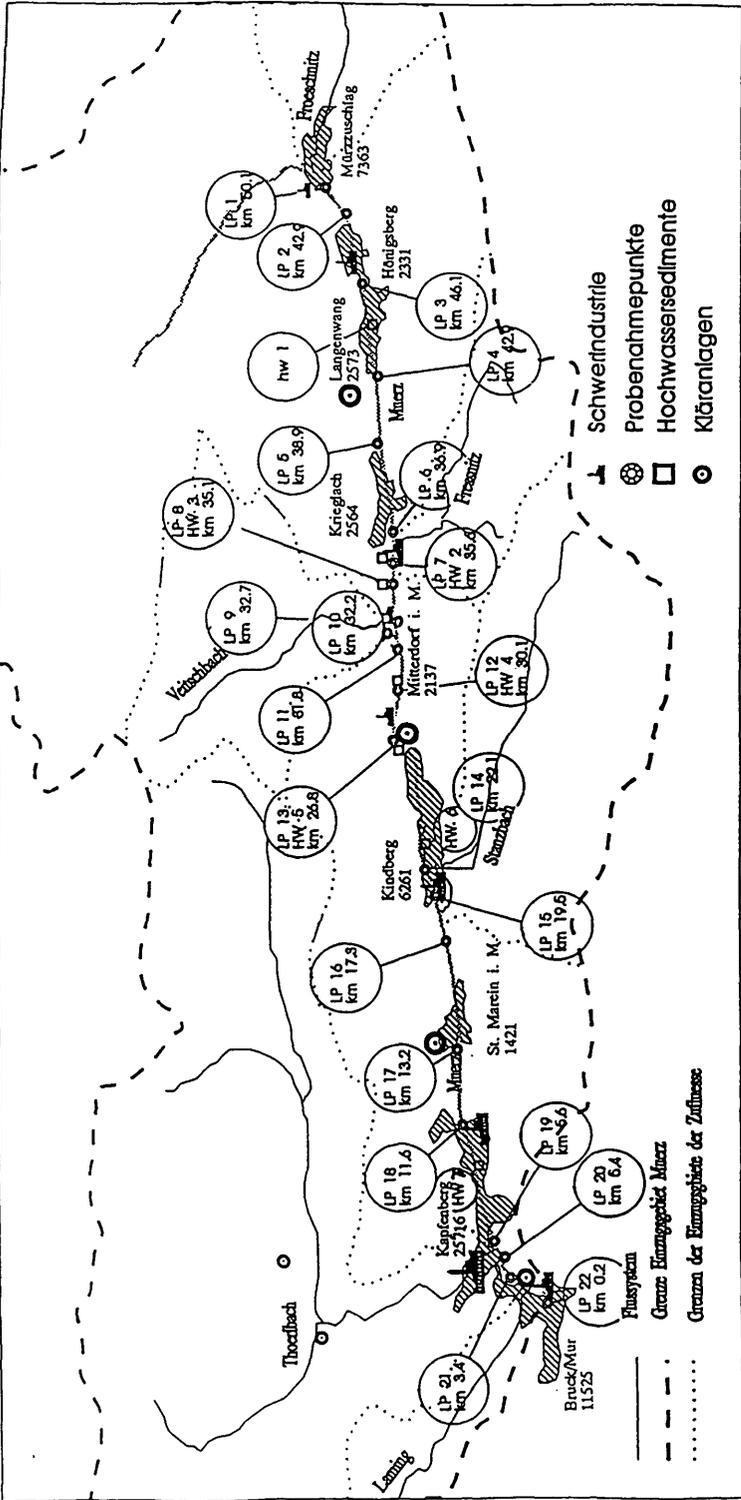


Abb. 1: Karte der Probenpunkte mit Einzugsgebietsgrenzen, Standorten der Schwerindustrie, Kläranlagen und Bevölkerungszentren mit Einwohnerzahlen (LP=Probenahmepunkt Längsprofil, HW=Probenahmepunkt Hochwassersedimente)

durchaus auch im weiteren Sinne der Metallverarbeitung zugerechnet werden können). Die größte Anzahl der Beschäftigten ist in der Gemeinde Kapfenberg tätig (Tab. 5, Abb. 1, Abb. 2) (Österreichisches Statistisches Zentralamt (Hrsg.) 1983).

Tab. 5: Industriegesektoren mit den meisten Beschäftigten

Gemeinde	Metallverarbeitung	Maschinenerzeugung	Bergbau	Papier
Thörl	694	0	0	0
Bruck/Mur	1149	183	11	421
Kapfenberg	16205	833	67	0
Kindberg	1145	359	0	0
Mitterdorf i. M.	734	8	27	0
Mürzzuschlag	962	1168	18	0
Veitsch	1	8	642	0
Wartberg i. M.	778	0	22	0

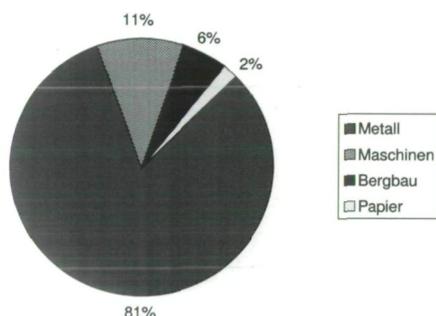


Abb. 2: Darstellung der Industriegesektoren im gesamten Einzugsgebiet

Zur detaillierten Kontrolle der Einleitungen von Industriebetrieben und anderen eventuellen Gefahrenquellen wurde die Kartei des Wasserbuches und die dazugehörige Karte im Masstab 1:10.000 des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung verwendet. Alle größeren Einleitungen wurden auf Besitzer bzw. Betreiber und Art der Einleitung geprüft, um im Fall einer starken Kontamination besser den Verursacher ausfindig machen zu können.

4. Methodik

Für die Untersuchung der Schwermetallkonzentrationen wurden Oberflächen-sammelpfrobep (beprobter Bereich ca. 50 m, maximale Beprobungstiefe 3 cm) genommen. Bei der Probenahme wurde, wie auch bei der weiteren Bearbeitung der Proben, darauf geachtet, jegliche Schwermetallkontamination zu vermeiden.

Die Proben wurden bei 50 °C getrocknet, in einem Porzellanmörser zerstoßen und mit einem Plastiksieb (quadratische Maschenweite 40 µm) trockengesiebt.

Bei ausgewählten Proben wurde eine Magnetseparation aus der Suspension durchgeführt (MANSER, 1991).

Die Fraktion < 40 µm wurde mittels klassischem Königswasseraufschluß aufgeschlossen (MANSER, 1991) und mit einem AAS (PERKIN ELMER, Modell 5100) auf die Elemente Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, und Zn untersucht. Zur Kontrolle der Messungen wurden eine interne und eine externe Laborkontrolle durchgeführt. Die

externe Laborkontrolle übernahm freundlicherweise Dr. Klein, GBA, als interne Kontrolle wurde als jede vierte Probe ein institutsinterner Standard (GS, Gamlitzbachstandard [MANSER, 1991]) mitgemessen (MESSNER, 1993).

5. Ergebnisse

Bei der Darstellung der Daten werden meist statistische Parameter der Datensätze erläutert. Dazu ist zu bemerken, daß aus Angaben über die Verteilungsform, bereits erste Schlüsse gezogen werden können: linksschiefe Verteilungen mit hohen Ausreißern zeigen eine Kontamination an; „natürliche Populationen“ sind meist normalverteilt.

Cd hat einen Mittelwert von 2.4 ppm, zeigt eine gute Normalverteilung, entlang des Längsprofils zeigt sich kein deutlicher Trend (siehe Tab. 6, Abb. 3).

Co hat einen Mittelwert von 23.4 ppm, der Großteil der Werte liegt unter 26 ppm (unteres Quartil 20 ppm – oberes Quartil 26 ppm), zwei Ausreißer verstärken eine linksschiefe Verteilung.

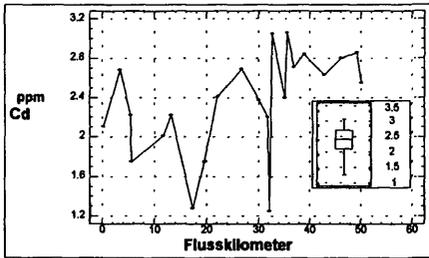


Abb. 3: Cd-Gehalte der Mürz; Längsprofil und Box-Plot

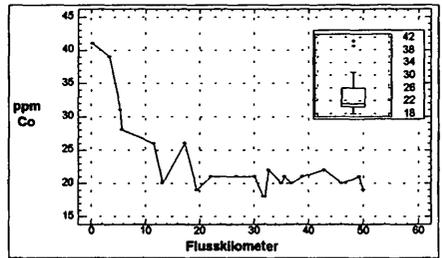


Abb. 4: Co-Gehalte der Mürz; Längsprofil und Box-Plot

Entlang des Längsprofils zeigt sich ein deutlicher Anstieg Richtung km 0 (Mündung der Mürz in die Mur, Bruck/Mur) (siehe Tab. 6, Abb. 4).

Tab. 6: Schwermetallkonzentrationen der Fraktion <40 µm und statistische Maßzahlen der Daten (Werte in ppm, Fe in %)

Probennummer	Fluß km	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
mmlp1	50.1	2.55	19	21	31	1.73	791	42	73	61
mmlp2	49.2	2.86	21	47	45	2.14	904	59	87	128
mmlp3	46.1	2.80	20	37	49	1.98	763	57	87	109
mmlp4	42.9	2.63	22	87	38	2.24	688	89	80	125
mmlp5	38.9	2.84	21	43	38	2.01	750	70	74	112
mmlp6	36.9	2.71	20	42	38	2.16	682	67	71	122
mmlp7	35.6	3.06	21	46	43	2.26	852	72	80	133
mmlp8	35.1	2.40	20	41	38	2.24	808	64	72	74
mmlp9	32.7	3.05	22	36	36	2.37	825	64	72	139
mmlp10	32.1	1.25	18	18	36	2.84	945	53	50	38
mmlp11	31.8	2.20	18	27	33	2.31	625	56	62	134
mmlp12	30.1	2.37	21	38	41	2.71	947	59	92	139
mmlp13	26.8	2.69	21	50	43	2.54	819	67	78	184

Probennummer	Fluß km	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
mmlp14	22.1	2.41	21	41	41	2.35	653	63	77	167
mmlp15	19.5	1.75	19	50	54	3.36	707	60	75	168
mmlp16	17.3	1.28	26	72	48	4.23	898	83	48	125
mmlp17	13.2	2.22	20	45	40	2.92	626	60	60	122
mmlp18	11.6	2.01	26	75	49	4.08	779	83	66	172
mmlp19	5.6	1.75	28	74	56	3.63	780	88	68	190
mmlp20	5.4	2.22	31	82	56	3.52	892	102	73	176
mmlp21	3.4	2.68	39	189	78	2.91	898	158	100	231
mmlp22	0.2	2.10	41	171	61	3.30	1089	139	80	170
Mittelwert		2.4	23.4	60.5	45	2.7	806	75.2	73.9	137
Std.abw.		0.5	6.3	43	11	0.7	118	27.6	12.3	44.4
Minimum		1.25	18	18	31	1.73	625	42	48	38
Maximum		3.06	41	189	78	4.23	1089	158	100	231
Std.abw.; interne Lab.kontr		0.19	0.71	0.97	1.1	0.08	12.7	1.0	2.1	3.6

Der Mittelwert von Cr liegt bei 60.5 ppm, zwei Ausreißer verstärken eine linkschiefe Verteilung, entlang des Längsprofils zeigt sich ein deutlicher Anstieg ab km 5.4 (siehe Tab. 6, Abb. 5).

Cu hat einen Mittelwert von 45 ppm, bis auf einen Ausreißer sind die Proben gleichverteilt, entlang des Längsprofils zeigt sich ein leichter Anstieg ab km 5.4 (siehe Tab. 6, Abb. 6). Bei Fe ligt der Mittelwert bei 2.7 %, die Verteilung der Werte ist leicht linksschief. Entlang des Längsprofils zeigt sich eine Erhöhung der Werte im letzten Drittel (Tab. 6, Abb. 7).

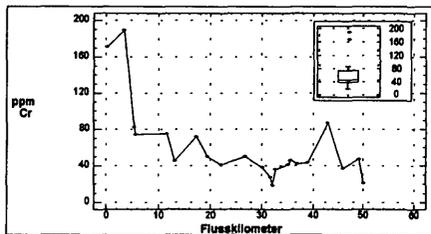


Abb. 5: Cr Gehalte der Mürz; Längsprofil und Box-Plot

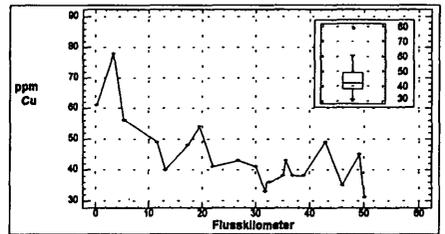


Abb. 6: Cu-Gehalte der Mürz; Längsprofil und Box-Plot

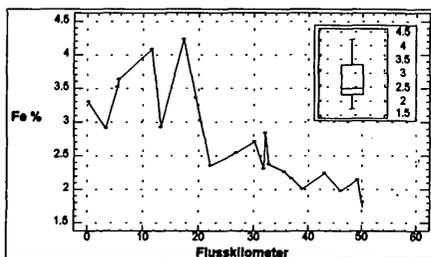


Abb. 7: Fe-Gehalt der Mürz; Längsprofil und Box-Plot

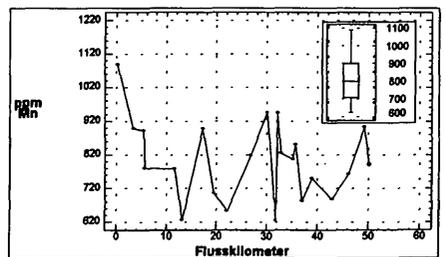


Abb. 8: Mn-Gehalt der Mürz; Längsprofil und Box-Plot

Mn hat einen Mittelwert von 806 ppm, die Werte zeigen eine gute Gleichverteilung, entlang der Fließstrecke ist kein Trend festzustellen (siehe Tab. 6, Abb. 8). Ni hat einen Mittelwert von 75.2 ppm, eine deutlich linksschiefe Verteilung und zeigt im letzten Drittel einen deutlichen Anstieg (siehe Tab. 6, Abb. 9).

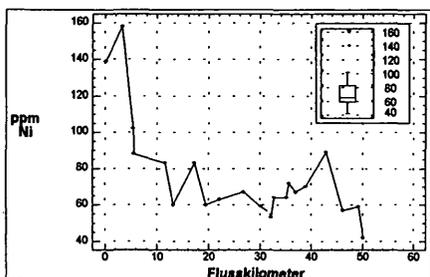


Abb. 9: Ni-Gehalte der Mürz; Längsprofil und Box-Plot

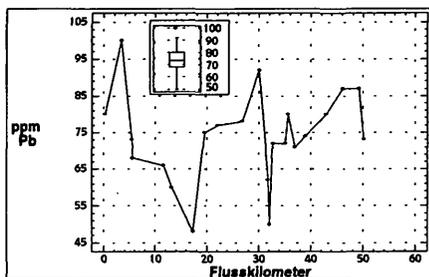


Abb. 10: Pb-Gehalte der Mürz; Längsprofil und Box-Plot

Der Mittelwert von Pb liegt bei 73.9 ppm, die Werte zeigen bis auf einen Ausreißer eine gute Gleichverteilung, entlang des Längsprofils liegt kein genereller Trend vor (siehe Tab. 6, Abb. 10).

Bei Zn liegt der Mittelwert bei 137 ppm, die Werte sind gut gleichverteilt und weisen trotz starker Schwankungen entlang des Längsprofils einen leichten Anstieg auf (siehe Tab. 6, Abb. 11).

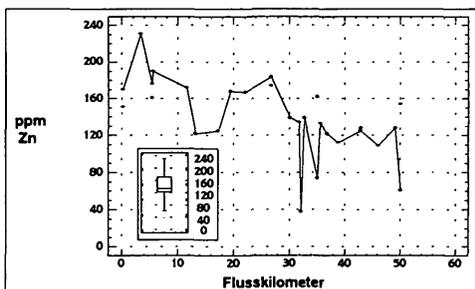


Abb. 11: Zn-Gehalte der Mürz; Längsprofil und Box-Plot

Da aus Vorarbeiten (SCHOLGER, 1990; MANSER, 1991; WEINZIERL & FENNINGER, 1991) bereits bekannt war, daß ein großer Teil von Cr und Ni partikulär an Metallteilchen (Zunder) gebunden ist, wurde an ausgewählten Proben eine Magnettrennung durchgeführt. Hier zeigte sich bereits beim quantitativen Anteil der magnetischen Fraktion an der Gesamtfraktion < 40 µm, eine starke Anreicherung der magnetischen Partikel im letzten Drittel der Fließstrecke. Die magnetische Fraktion wurde auf die Konzentration der Elemente Cr, Ni und Zn analysiert. Die Konzentrationen der drei Elemente im Zunder sind extrem hoch und weisen eine sehr starke Streuung auf (siehe Tab. 7). Detaillierte Arbeiten über Zunder, seine Quellen und Zusammensetzung sind in SCHOLGER, 1991 enthalten.

Tab. 7: Cr-, Ni- und Zn-Gehalte der magnetischen Fraktion ausgewählter Proben der Mürz (Werte in ppm)

Probennummer	Flußkilometer	Cr	Ni	Zn
mmlp4	42.9	1341	2389	1997
mmlp7	35.6	558	976	771
mmlp13	26.8	2614	1765	789
mmlp16	17.3	730	892	305
mmlp19	5.6	884	1018	636
mmlp20	5.4	4075	2432	737
mmlp21	3.4	9217	5055	662
mmlp22	0.2	8181	4127	2697
Mittelwert		3450	2332	1074
Minimum		558	892	305
Maximum		9217	5055	2697

Weiters zeigt sich, daß sich die Zusammensetzung der magnetischen Fraktion, bezogen auf Cr, Ni und Zn, entlang des Flußprofils bis km 5.6 einheitlich verhält (Anreicherung und Abreicherung sind stets an den gleichen Proben zu beobachten, der Zn-Gehalt ab km 5.4 mit Cr- und Ni-Gehalt allerdings nicht korreliert. Eine starke Anreicherung von Cr und Ni in den drei letzten Proben steht einer Anreicherung von Zn erst in der letzten Probe gegenüber (siehe Abb. 12).

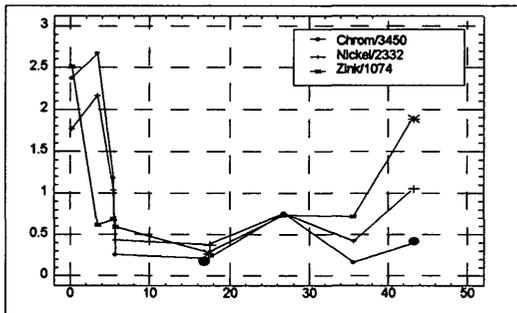


Abb. 12: Zusammensetzung der magnetischen Fraktion entlang des Flußverlaufs (Werte sind mit Mittelwert normiert)

Die unmagnetische Fraktion wurde auf Cr, Cu, Mn, Ni und Zn untersucht. Bei allen Elementen zeigte sich eine deutliche Senkung der Konzentrationen, am stärksten bei Cr und Ni (siehe Tab. 8).

Cr, Mn und Ni verhalten sich entlang des Flußprofils ähnlich. Diese drei Elemente zeigen einen leichten Anstieg in den ersten zwei Dritteln, sinken im letzten Drittel allerdings ab. Die starke Erhöhung der Elementkonzentrationen der Gesamtfraktion < 40 µm im letzten Drittel steht einer Senkung der Werte in der unmagnetischen Fraktion gegenüber (siehe Abb. 13 a, b, c).

Tab. 8: Schwermetallgehalte der unmagnetischen Fraktion (Werte in ppm); die prozentuelle Senkung gegenüber der Gesamtprobe bezieht sich auf die jeweiligen Proben, nicht auf die Gesamtpopulation

	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn
Probenzahl	8	8	7	8	7
Mittelwert	35	38	613	41	125
Senkung in %	64	31	29	59	24
Minimum	24	24	569	31	85
Maximum	66	52	677	61	170
Unt. Quartil	26	33	573	35	98
Ob. Quartil	37	41	646	44.5	154

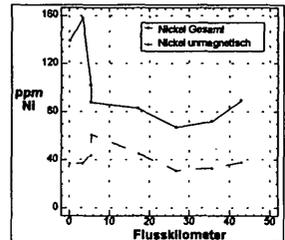
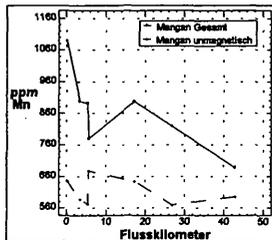
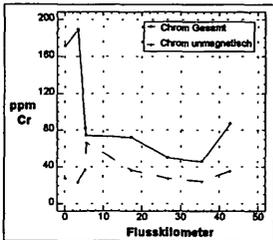


Abb. 13 a, b, c: Cr-, Mn- und Zn-Gehalt der unmagnetischen und der Gesamtfraction entlang der Mürz

Cu und Zn zeigen entlang des Längsprofils einen starken Anstieg und sinken erst bei den letzten Proben wieder ab. Die Konzentrationssenkungen in der unmagnetischen Fraktion werden hier im Flußverlauf langsam größer, ein Sprung wie bei Cr, Mn und Ni ist nicht zu beobachten (siehe Abb. 14 a, b).

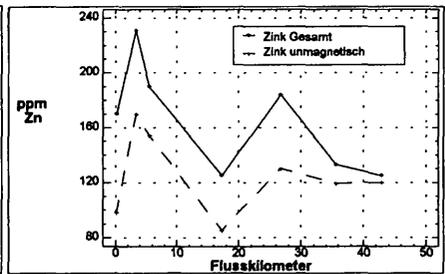
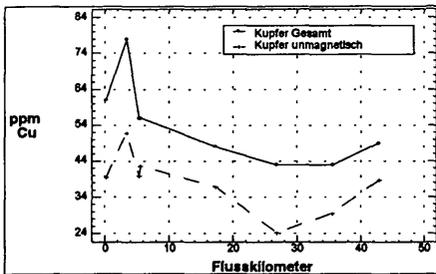


Abb. 14 a, b: Cu- und Zn-Gehalt der unmagnetischen und der Gesamtfraction entlang der Mürz

6. Interpretation

Betrachtet man die Konzentrationen der Schwermetalle, so ist eine offensichtliche Gruppierung der Elemente bemerkbar: eine Gruppe mit deutlichem Maximum im unteren Flußlauf steht einer Gruppe mit großer regionaler Variabilität, aber ohne diesen Anstieg, gegenüber.

Um diese Gemeinsamkeiten zu erfassen, wurde eine R-Modus Faktorenanalyse (FA) der Schwermetalldatenmatrix durchgeführt. Zur Analyse wurde das Programmpaket SAS (SAS Institute Inc., Carry, NC, USA) verwendet. Diese Software bietet auch die Möglichkeit einer parameterfreien Methode der FA (Maximum Likelihood Methode). Dies erscheint notwendig, da einige Elemente eine nur schlechte Normalverteilung aufweisen und die statistischen Parameter für diese Datensätze falsch sind (das arithmetische Mittel vertritt den Datensatz nur mehr schlecht, Standardabweichung und Varianz sind in Folge verfälscht). Dadurch treten bei parametrischen Methoden, die auf „schlechte“ Datensätze angewandt werden, zwangsläufig Fehler auf. Trotzdem zeigte eine Vergleichsanalyse mit einer parametrischen Methode (Iterative Hauptkomponentenanalyse) nur unwesentlich andere Ergebnisse.

Die erhaltene Faktorenanalyse wurde mit der Varimax Methode rotiert.

Als Resultat der Faktorenanalyse erhält man drei Faktoren mit den Eigenwerten 4.5, 1.6 und 0.5. Obwohl üblicherweise nur Faktoren mit Eigenwerten > 1 berücksichtigt werden, wurde hier auch der dritte Faktor einbezogen, um die Datenmatrix besser zu erfassen (speziell Zn wurde mit zwei Faktoren nur schlecht erfaßt).

Der Faktor 1 enthält vor allem Co, Cr, Cu und Ni (siehe Abb. 15).

Vergleicht man die factor scores (siehe Abb. 16) mit den Industriestandorten (Abb. 1) so sieht man, daß das erste große Maximum (km 42.9) nach dem Stahlwerk Hönigsberg, das zweite Maximum (km 17.3) nach den metallverarbeitenden Betrieben in Aumühl und das Hauptmaximum im Bereich Kapfenberg liegt.

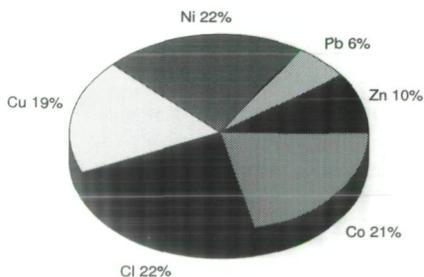


Abb. 15: Faktorenladung des ersten Faktors

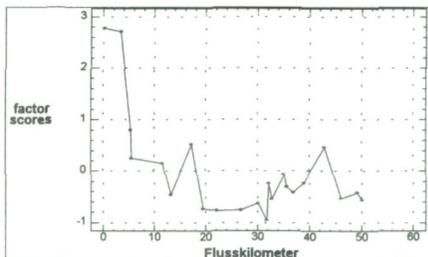


Abb. 16: factor scores des Faktor 1 entlang der Mürz als Pie Chart

Besonders stark ist hier der Anstieg nach der Einmündung des Thörlbaches (km 32.1), der durch diesen Faktor stärker belastet ist als die Mürz (WIESER, 1995). Weiters muß hier auch eine Verschleppung der Kontaminationen festgestellt werden. Jede Kontaminationsquelle kommt erst nach ein bis drei Kilometern voll zur Geltung. Am besten sichtbar ist dies bei der Einmündung des Thörlbaches. Dieser verursacht einen starken Anstieg des Faktor 1 (siehe auch Abb. 4, 5, 6, 9), die Probe mmlp20 bei km 5.4 ist aber bei allen Elementen und auch bei Faktor 3 geringer belastet als die Probe mmlp21 bei km 3.4. Die oben angeführten Industriestandorte (siehe Abb. 1) zeigen ihren Einfluß immer erst einige Kilometer später. Probenpunkte, die näher am Standort liegen, sind noch unbeeinflusst.

Der Faktor 2 besteht hauptsächlich aus Cd und Pb (siehe Abb. 17).

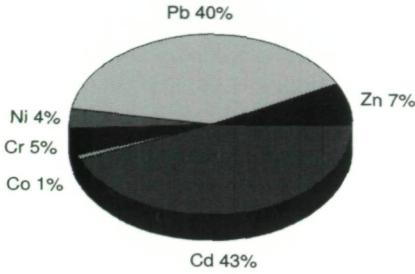


Abb. 17: Faktorenladung des Faktor 2 als Pie Chart

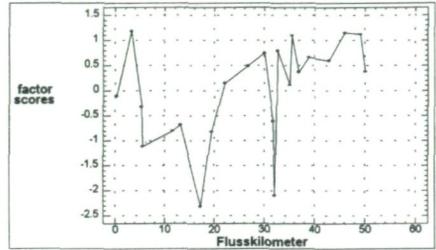


Abb. 18: factor scores des Faktor 2 entlang der Mürz

Vergleicht man die factor scores mit der Lage der Ballungszentren (Abb. 1), so sieht man daß die hohen Konzentrationen stets mit Städten zusammenfallen. Lediglich der Bereich Kindberg zeigt hier keine erhöhten Werte, dies ist möglicherweise auf die Verdünnung durch den Stanzbach zurückzuführen (siehe Abb. 18). Der Veitschbach hat keine verdünnende Wirkung, lediglich die Probe mmlp10 bei km 32.1 aus dem Veitschbach selbst ist deutlich niedriger, die nächste Probe ist gleich belastet wie die Probe vor dem Veitschbach.

Der Faktor 3 stellt hauptsächlich Zn und Cu dar (siehe Abb. 19).

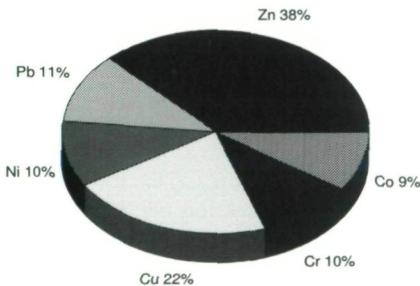


Abb. 19: Faktorenladung des Faktor 3

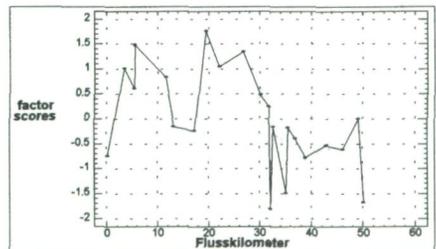


Abb. 20: factor scores des Faktor 3 entlang der Mürz

Entlang des Längsprofils zeigt sich ein hoher Anstieg ab km 35.6; das Minimum im Veitschbach (km 32.1) reicht nicht aus, um den Wert in der darauffolgenden Probe zu senken. Erst nach der Einmündung des Stanzbaches (km 18.8) sinken die Werte wieder, um dann vor Kapfenberg noch einmal anzusteigen. Der Thörlbach (km 5.5) senkt die Werte noch einmal bevor sie zur letzten Probe hin entgültig wieder absinken (siehe Abb. 20). Verschleppungen wie bei Faktor 1 sind hier nicht zu beobachten.

Um den Einfluß der drei Faktoren auf den gesamten Schwermetallgehalt des 1. Längsprofils zu zeigen, werden die factor scores, multipliziert mit dem Eigenwert und in den positiven Bereich transponiert, additiv dargestellt. Man kann deutlich die Einflußbereiche der einzelnen Faktoren sehen: bis zum Veitschbach (km 32.1) ist der Faktor 2 konstant hoch, während der Faktor 1 hier bei km 42.9 ansteigt und darauf wieder absinkt. Im Veitschbach sind alle drei Faktoren stark erniedrigt, darauf folgt ein

hoher Bereich des Faktors 2, der bei der Stanzbacheinmündung wieder absinkt. Faktor 1 ist zwischen Veitschbach und Stanzbach sehr gering. Beide Faktoren steigen danach wieder an und erreichen bei km 3.4, nach Einmündung des Thörlbaches ein neues Maximum; der Faktor 2 hat hier im Vergleich zum Faktor 1 geringere Werte an. Zur Mündung in die Mur (km 0) hin werden die scores aller drei Faktoren wieder kleiner. Der Faktor 3 fällt in dieser Gesamtdarstellung kaum ins Gewicht (der Eigenwert ist zu klein) (siehe Abb. 21).

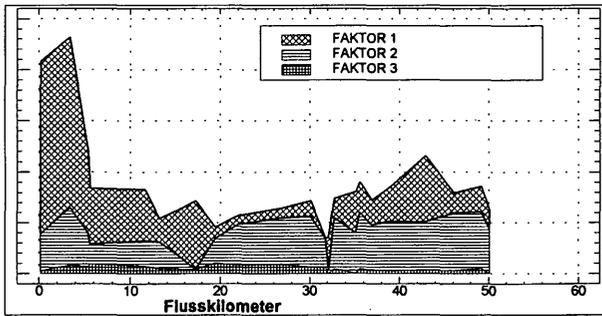


Abb. 21: Darstellung des Einflusses aller drei Faktoren auf die gesamte Schwermetallbelastung entlang der Mürz

7. Quellen der Schwermetalle

Cr, Cu und Ni finden als Legierungsmetalle Verwendung und werden durch metallverarbeitende Betriebe in Oberflächengewässer eingebracht (MERIAN, 1984; FÖRSTNER, 1989).

Die Untersuchungen an magnetischen Partikeln, die hauptsächlich aus Zunder bestehen, der aus der Metallindustrie stammt (PLASS, 1990; SCHOLGER, 1990; MANSER, 1991), zeigen ebenfalls starke Anreicherung der Elemente Cr, Cu und Ni. Die starke Anreicherung dieser Elemente in der magnetischen Fraktion bei den gleichen Proben, bei denen auch die Maxima der factor scores liegen, belegen ebenfalls die starke Bindung dieses Faktors an den Zunder.

Diese Argumente und die örtliche Nähe der Maxima dieses Faktors zu metallverarbeitenden Betrieben zeigen eindeutig, daß die Herkunft des Faktor 1 in der Metallindustrie zu suchen ist. Diese sorgt für eine generell hohe Belastung, die nur durch den Veitschbach über eine kurze Strecke gesenkt wird. Spitzenwerte treten bei bestimmten Betrieben (Stahlwerk Hönigsberg; VOEST-Walzwerk Kindberg in Aumühl und Konzentration mehrerer metallverarbeitender Betriebe in Kapfenberg mit zusätzlicher starker Belastung durch den Thörlbach) (siehe Abb. 1) auf.

Pb stammt hauptsächlich aus atmosphärischen Quellen und wird zum Großteil bei der Verbrennung von Pb-hältigen fossilen Brennstoffen freigesetzt (MERIAN, 1984). Verstärkt treten Pb-Kontaminationen in Siedlungsgebieten auf: durch das Abwaschen der Pb-hältigen Stäube kommt es nach starken Niederschlägen zu hohen Pb-Konzentrationen im Abfluß (FÖRSTNER, 1989); ähnlich ist die Situation auch bei anderen Flächen mit verstärktem Verkehrsaufkommen z.B. Autobahnen (MERIAN, 1984).

Cd stammt ebenfalls hauptsächlich aus atmosphärischen Quellen. Die Emissionen stammen hier aus Cd-Produktion, Eisen und Stahlerzeugung und wie bei Pb aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe (MERIAN, 1984).

Beide Elemente werden in kommunalen Abwässern angereichert und oft durch Abwasserreinigungsanlagen nur schlecht beseitigt (FÖRSTNER, 1989).

Diese Argumente erklären die hohen Werte der factor scores des Faktor 2 in der Nähe der Siedlungsgebiete. Einige Peaks sind aber auch auf direkten Einfluß von Verkehrsflächen zurückzuführen: so liegt z.B. der Probenpunkt bei km 30.1 direkt an einer stark befahrenen Straße, wogegen das nächste Siedlungsgebiet hier schon zu weit entfernt ist (siehe Abb. 1).

Auffallend ist bei Faktor 2 die starke Verdünnung durch den Stanzbach und der niedrige Wert im Veitschbach selbst, was eine regionale Einschränkung der atmosphärischen Kontamination anzeigt.

Zusammenfassend muß man postulieren, daß der Faktor 2 hauptsächlich durch atmosphärische Quellen bedingt ist, wobei der direkte Eintrag in die Mürz nur eine untergeordnete Rolle spielt; dominant ist der Abfluß aus verstärkt kontaminierten Siedlungsgebiete.

Zn wird in Verbindung mit Cu hauptsächlich als Legierungsmetall verwendet. Der Abrieb dieser Legierungen, vor allem in Hausinstallationen und Dachrinnen, führt zu erhöhten Konzentrationen in Siedlungsgebieten (MERIAN, 1984; FÖRSTNER, 1989). Die Erosion von Legierungen erklärt auch das Vorhandensein der Elemente Cr, Ni und Pb in Faktor 3, die ebenfalls für Legierungen verwendet werden.

Bei diesem Faktor spielen aber auch metallverarbeitende Betriebe eine große Rolle; so sind die höchsten Werte der factor scores des Faktor 3 nach den Betrieben in Wartberg, Aumühl und Kapfenberg (VEW) festzustellen. Die Betriebe am Thörlbach und nach km 5.6 scheinen nur wenig Einfluß zu haben. Ebenfalls wenig Einfluß hat die Metallindustrie am Oberlauf der Mürz (bis km 35.1) (siehe Abb. 1).

An dieser Stelle sei noch einmal darauf verwiesen, daß dieser Faktor nur einen kleinen Eigenwert hat (0.5).

8. Geoakkumulation

Um die Gehalte von Schwermetallen zu normieren und Aussagen über den Grad der Verunreinigung der Sedimente treffen zu können, ist es notwendig, die gemessenen Konzentrationen der Schwermetalle in Beziehung zum geogenen Background zu setzen. Dies geschieht durch die Berechnung des Geoakkumulationsindex nach der folgenden Formel:

$$I\text{-Geo} = \lg 2 (C/BG * 1.5)$$

BG = Backgroundwert

C = gemessene Konzentration

$\lg 2$ = Logarithmus zur Basis 2

nach MÜLLER, 1979

Der geogene Background wird mit 1.5 multipliziert um Schwankungen zu berücksichtigen.

Das Maximum von Co und Cu fällt in die Klasse 1 (unbelastet – mäßig belastet), das Maximum von Ni, Pb und Zn in die Klasse 2 (mäßig belastet) und das Maximum von Cr und Cd in die Klasse 3 (mäßig bis stark belastet). Cd wird für weitere Interpretationen allerdings nicht mehr verwendet, da die absoluten Zahlenwerte etwas überhöht sein dürften (MESSNER, 1993).

Der höchste Wert des Oberen Quartils liegt meist eine Klasse tiefer (siehe Tab. 9), da Ausreißer auf parameterfreie Statistik keinen Einfluß nehmen.

	BG	0	1	2	3	4	5	6	Max.	Ob. Quart.
Cd	0.5	0.75	1.5	3	6	12	24	> 24	3.06	2.71
Co	21	32	64	128	256	512	1024	> 1024	41	26
Cr	30	45	90	180	360	720	1440	> 1440	189	74
Cu	29	44	88	176	352	704	1408	> 1408	78	49
Ni	51	77	154	308	616	1232	2464	> 2464	158	83
Pb	30	45	90	180	360	720	1440	> 1440	100	83
Zn	75	113	225	450	900	1800	3600	> 3600	231	170

Klasse	Bezeichnung
0	praktisch unbelastet
1	unbelastet bis mäßig belastet
2	mäßig belastet
3	mäßig – stark belastet
4	stark belastet
5	stark – übermäßig belastet
6	übermäßig belastet

Tab. 9: Klassen des Geoakkumulationsindex für die Müritz mit den oberen Klassengrenzen; Werte des Maximums im 1. Längsprofil und des Oberen Quartils; die Klasse, in die der höchste Wert des Oberen Quartils fällt, ist unterstrichen, die in die das Maximum fällt ist in Fettschrift gehalten

Betrachtet man die Probenpunkte entlang des Längsprofils, so liegen für Cu, Pb, und Cr die meisten Werte in der Klasse 1, nur zwei Ausreißer liegen bei Pb in Klasse 2, bei Cr liegt ein Ausreißer sogar in Klasse 3 (siehe Abb. 22).

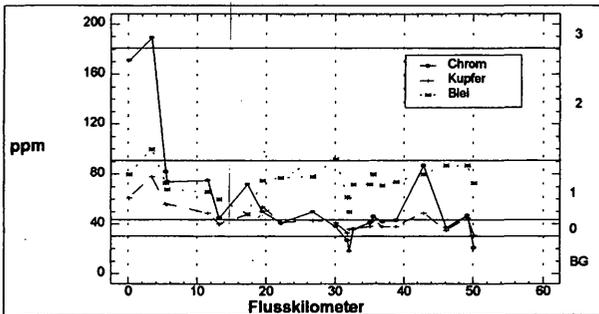


Abb. 22: Darstellung der Klassen des Geoakkumulationsindex für Cr, Cu und Pb entlang des 1. Längsprofils

Bei Ni liegt der Großteil der Werte in Klasse 0, nur die Maxima der Verteilung liegen in Klasse 1 und ein Ausreißer in Klasse 2 (siehe Abb. 23).

Bei Zn liegt der Großteil der Werte in Klasse 1; nur ein Ausreißer liegt in Klasse 2 (siehe Abb. 23).

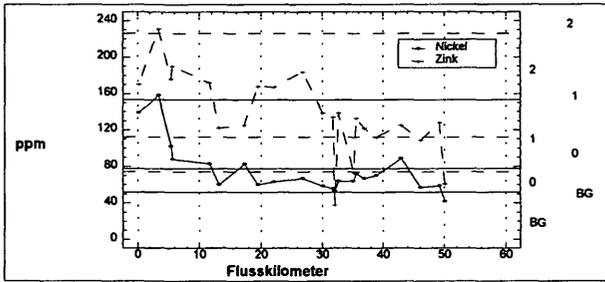


Abb. 23: Darstellung der Klassen des Geoakkumulationsindex für Ni und Zn (Ni = durchgezogene Linie und linke Zahlenkolonne; Zn = unterbrochene Linie und rechte Zahlenkolonne)

9. Bioverfügbarkeit und Risikoabschätzung

Die Untersuchungen an Sedimenten der Mur (WEINZIERN & FENNINGER, 1991) an Hand einer Laugungsreihe ergaben für Pb, Zn und Cu einen hohen Anteil (65–75 %) an remobilisierbaren Schwermetallen, für Ni und Cr einen nur geringen Anteil (5–30 %) (siehe Tab. 10).

Selbst wenn man für die Mürsedimente geringfügig andere Werte prognostiziert, muß man die Aussage über die Anreicherung des Faktor 1 relativieren. Diese Elemente bergen trotz der hohen Gehalte wenig Risiko, da ein großer Teil der Konzentrationen partikulär gebunden ist.

Als gefährlicher müssen die Elemente des Faktor 2 eingestuft werden. Diese weisen eine sehr hohe Bioverfügbarkeit auf.

Betrachtet man die Gehalte an Pb, so kommen die hohen Werte nahe an den Grenzwert für landwirtschaftlich genutzte Böden (100 ppm in Österreich), bzw. überschreiten diesen Grenzwert sogar (z. B.: EG Klärschlammrichtlinien 50–300 ppm) (MANSER, 1991). Zn steht mit einem Grenzwert von 300 ppm (Österreich) noch etwas besser da.

Diese Aussage ist besonders für die großen Mengen von anfallendem Bagger-schlamm in den Stauräumen – diese werden entweder von Hochwässern, teilweise auf Ackerböden, verlagert oder müssen ausgebagert werden – von Bedeutung. Pb liegt fast im ganzen untersuchten Flußabschnitt nahe am österreichischen Grenzwert; hier kommt auch noch dazu, daß durch den hohen Feinanteil der Stauraumsedimente beim Gesamtsediment mit einer ähnlich hohen Pb-Konzentration zu rechnen ist.

Bevor zu diesem Thema nähere Aussagen gemacht werden, sind Untersuchungen über die Bindungsformen vor allem an Sedimenten der Mürz selbst notwendig.

Tab. 10: Ergebnisse der Laugungsreihe an Proben des Stauraumes Mellach (nach WEINZIERL & FENNINGER, 1991)

Element	A 1	A 2	A 3	A 4	A 1 – A 4	A 5	A 6	A 5 – A 6
Cd	9	0	15	20	45	20	35	55
Co	2	2	15	20	40	45	15	60
Cr	0	0	0	5	5	30	65	95
Cu	0	0	30	35	65	30	5	35
Ni	0	0	10	20	30	60	10	70
Pb	3	2	50	15	75	13	12	25
Zn	0	7	30	30	70	25	5	30

Klasse	Bindungsform	Lösungsmittel
A 1	wasserlöslich	BaCl ₂
A 2	An Karbonate gebunden	NaOAc.
A 3	An organische Phasen gebunden	EDTA
A 4	An amorphe anorganische Phasen gebunden	0.3 m HCl
A 5	An weniger komplexe Oxide und Sulfide gebunden	Aqua regia
A 6	Totalgehalt an Schwermetallen	multi - acid
A 1 – A 4	Schwermetalle in nicht detritischen Phasen	
A 5 – A 6	Schwermetalle in detritischen Phasen	

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. FENNINGER für die Betreuung dieser Arbeit, sowie all meinen Freunden, stellvertretend nenne ich Peter und Charly, danken.

Literatur

- CALMANO, W., AHLF, W., FÖRSTNER, U. (1988): Study of Metal Sorption/Desorption Processes on Competing Sediment Components with a Multichamber Device. – *Environ. Geol. Water Sci.* 11: 77–84.
- FÖRSTNER, U. (1983): Bindungsformen von Schwermetallen in Sedimenten und Schlämmen: Sorption/Mobilisierung, chemische Extraktion und Bioverfügbarkeit. – *Fresenius Z. Anal. Chem.* 316: 604–611.
- FÖRSTNER, U., CALMANO, W., CONRADT, K., JAKSCH, H., SCHIMKUS, C. & SCHÖR, J. (1981): Chemical Speciation of Heavy Metals in Solid Waste Materials (Sewage Sludge, Mining Wastes, Dredged Materials, Polluted Sediments) by sequential Extraction. – *Proceedings of the 3. International Conference of Heavy Metals in the Environment*, 689–704.
- FÖRSTNER, U. (1989): *Contaminated Sediments*. – Berlin /Heidelberg/New York.
- FÖRSTNER, U., WITTMANN, G.T.W. (1979): *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. – Springer, Berlin/Heidelberg.
- Hydrographisches Zentralbüro (Hrsg.) (1961): *Flächenverzeichnis der österreichischen Flußgebiete, Murgebiet*. – Beiträge zur Hydrographie Österreichs, 33 Wien.
- Hydrographisches Zentralbüro (Hrsg.) (1984): *Die Abflüsse in Österreich im Zeitraum 1971–1980, Teil II*. – Beiträge zur Hydrographie Österreichs 48/II, Wien.
- MANSER, P. (1991): *Untersuchung der Schwermetallgehalte in den Sedimenten der Mur (Steiermark)*. – Unveröff. Diss., Universität Graz.

- MERIAN, E. (1984): Metalle in der Umwelt – Verteilung, Analytik und biologische Relevanz. – Verlag Chemie, Weinheim.
- MESSNER, M. (1993): Einflussfaktoren der Schwermetallbelastung von Sedimenten in fluviatilen Systemen am Beispiel der Mürz (Steiermark). – Unveröff. Diplomarb., Universität Graz, Graz.
- MÜLLER, G. (1979): Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veränderungen seit 1971. – Umschau 79, 24: 778–783, Frankfurt am Main.
- Österreichisches Statistisches Zentralamt (Hrsg.) (1983): Arbeitsstättenzählung 1981 – Hauptergebnisse Steiermark. – Beiträge zur Österreichischen Statistik 650/6, Wien.
- Österreichisches Statistisches Zentralamt (Hrsg.) (1984): Volkszählung 1981 – Hauptergebnisse I Steiermark. – Beiträge zur Österreichischen Statistik 630/7, Wien.
- Österreichisches Statistisches Zentralamt (Hrsg.) (1986): Ortsverzeichnis 1981 Steiermark. – Beiträge zur Österreichischen Statistik, Wien.
- PLASS, N. (1990): Sedimente und Sedimentationsdynamik im Stauraum Mellach südlich Graz (Steiermark). – Unveröff. Diss., Universität Graz, Graz.
- SCHOLGER, R. (1990): Sedimentation und Gefüge rezenter Flußsedimente der Mur in der Steiermark. – Unveröff. Diss. Univ. Graz.
- THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G. (1989): Geochemischer Atlas der Republik Österreich, 1: 1000000 Böhmisches Masse und Zentralzone der Ostalpen. – Geolog. Bundesanstalt, Wien.
- WEINZIERL, O. & FENNINGER, A. (1991): Bindungsformen von Schwermetallen in Stauraumsedimenten. – Institut für Umweltinformatik, Joanneum Research, Leoben.
- WIESER, C. (1995): Untersuchung der Schwermetallgehalte an Sedimenten in fluviatilen Systemen am Beispiel des Thörlbaches (Steiermark). – Unveröff. Diplomarb., Universität Graz.

Anschrift des Verfassers: Mag. Manfred MESSNER,
Institut für Geologie und Paläontologie,
Heinrichstrasse 26, 8010-Graz.