

### Kurze Originalmitteilungen

## Beispiele der anthropogenen Verbreitung von Cadmium in der Umwelt über die Pfade Abwasser und Klärschlamm

Von UWE HORNIG

Mit 3 Tabellen

#### Einleitung

Großes Aufsehen und verstärkte Beachtung der Cadmium-Problematik verursachte eine Katastrophe in Japan, deren Folge für die Menschen als »Itai-Itai«-Krankheit, zu deutsch »Aua-Aua«, beschrieben wurde. Hervorgerufen wurde diese durch aus einem Silberbergwerk stammendes, mit Cadmium belastetes Wasser, welches zur Bewässerung der Reisfelder verwendet wurde. Die Krankheit zeichnet sich vor allem durch einen sehr schmerzhaften Verlauf von Skelettdeformationen aus. Cadmium ist ein typisches Kumulationsgift, welches beim Menschen in Niere und Leber gespeichert wird und eine Vielzahl von Schädigungen hervorrufen kann. Die toxische Wirkung von Cd ist auf allen trophischen Ebenen nachgewiesen worden (Zusammenfassung bei MOLL 1987).

Cadmium (Ordnungszahl 48) ist in der natürlichen Umwelt nicht sehr häufig, als Mittelwert für die Erdkruste können 0,2 mg/kg Trockenmasse angegeben werden. In seinen chemischen Eigenschaften ist es dem Zink ähnlich und kommt als Begleitmetall in Zinkerzen vor. Durch die metallurgische Industrie, das Verheizen fossiler Brennstoffe und die Abfallverbrennung (PVC!) wird die Atmosphäre mit Cd belastet. Eine wichtige Rolle spielen aber auch gewerbliche Abwässer mit ihren Auswirkungen auf Vorfluter, Klärschlämme und Böden. Cadmium kann sich in Flußsedimenten bis zum 30.000fachen der Wasserkonzentration anreichern (HÜTTER 1990). Infolge erhöhten Umweltbewußtseins geht die Verwendung von Cd in der Industrie in den letzten Jahren zurück.

Wichtig ist der Cd-Gehalt der Klärschlämme bei der Entscheidung über deren weitere Verwendung. In der Klärschlammverordnung ist für den Schlamm ein Grenzwert von 10 mg/kg Trockenmasse, für den Boden 1,5 mg/kg TM festgelegt. Bei Überschreitungen darf Klärschlamm nicht ausgebracht werden. Diese Grenzwerte reduzieren sich bei leichten Böden auf 5 bzw. 1 mg/kg TM. Die Klärschlammverordnung soll sicherstellen, daß sich Cd nicht im Boden oder in darauf erzeugten Kulturen anreichert. MÖNICKE (1994) weist für Sachsen nach, daß bei bestimmten Bodentypen die festgelegte Aufnahmekapazität allein durch Cd-belasteten P-Dünger erreicht werden kann, so daß für den Einsatz von Klärschlamm kein Platz bliebe. Für die zukünftige

ge Ausbringung von Klärschlamm fordert er gebietsbezogene Schadstoffbilanzen, **b e i m C d b e g i n n e n d !** Da gesamtökologisch der überwachten Wiederverwendung des Klärschlammes gegenüber Verbrennung oder Deponierung der Vorzug zu geben ist, muß die Verminderung des Cd-Gehaltes im P-Dünger angestrebt werden. Die Akzeptanz von Klärschlamm wird heftig diskutiert, vor allem aus wirtschaftlichen, gesellschaftspolitischen und werbestrategischen Interessen (vgl. TRITT 1994).

An einzelnen, aus der Oberlausitz und ihren angrenzenden Gebieten stammenden Beispielen sollen in dieser Arbeit interessante Aspekte der Verteilung des Cadmium durch Abwässer und Klärschlämme vorgestellt werden.

## Methodik

Alle hier aufgeführten Meßwerte wurden im Labor der Dresdner Wasser und Abwasser GmbH (vormals WAB), Abteilung Umweltanalytik und Abwasserverfahrenstechnik in Ebersbach/Sa. analysiert. Die Aufschlüsse der Schlämme wurden bis Ende 1990 mittels der Jenaer Methode mit Ammoniumnitrat, Salpetersäure und Salzsäure, seitdem als Königswasseraufschluß nach DIN 38414 vorgenommen. Die eigentliche Cd-Bestimmung erfolgt atomadsorptionsspektrometrisch am AAS 1N (Carl-Zeiss Jena). Die Schwermetalle in den Kläranlagenabläufen werden am AAS 1100 (Perkin-Elmer) bestimmt.

## Beispiel 1: Folgen einer Havarie

In Oppach/OL kam es zuerst etwa 1965 und danach in den 70er Jahren durch unverantwortliches Arbeiten in der Galvanik eines inzwischen stillgelegten Betriebes zu mehreren schweren Cadmiumeinleitungen. Das Ergebnis waren Fischsterben im Dammühlteich, dem im Umkreis beliebtesten Angelgewässer. Die Vorgänge wurden vertuscht und Analyseergebnisse für die im Auftrag des Anglerverbandes an die Bezirksveterinärhygiene eingesandten Fische nicht bekanntgegeben. Es ist nicht auszuschließen, daß es neben den »bekannteren« Havarien auch mehr oder weniger kontinuierliche Ableitungen von Abwässern mit erhöhtem Cd-Gehalt gab, ohne daß **F i s c h s t e r b e n w a r n e n** konnten.

Der Dammühlteich diente bisher nicht nur zum Angeln und Gondeln, sondern auch als Nachklärteich der mechanischen Kläranlage von Oppach. Aufschlußreich ist ein somit möglicher Vergleich der Ablaufwerte mit denen anderer Kläranlagen. 1992 untersuchte unser Labor die Abläufe aller 43 in der Oberlausitz gelegenen und der ehemaligen WAB gehörenden Abwasserbehandlungsanlagen. Jede Anlage wurde im Schnitt siebenmal beprobt. 41 der 43 Anlagen hatten Jahresmittel kleiner oder gleich  $1 \mu\text{g/l}$  Cadmium. Ein Ablauf (Görlitz-West) lag bei  $1,2 \mu\text{g/l}$ , der mit Abstand höchste Wert wurde mit  $1,7 \mu\text{g/l}$  im Ablauf des Dammühlteiches in Oppach erreicht! Die Cd-Konzentration des Teichwassers betrug also reichlich das Dreifache durchschnittlicher Kläranlagenabläufe und lag ungefähr 15 Jahre nach den letzten Havarien immerhin noch über dem Referenzwert A der Hollandliste (Belastung vorhanden), aber unter dem Referenzwert B (Gefahren für Mensch und Umwelt). Während dieser Zeit sammelten sich neue Ablagerungen und Laub am Teichgrund an und deckten die besonders kontaminierten Schichten möglicherweise etwas ab, andererseits bilden Karpfen, die im Schlamm wühlen, den Hauptbesatz des Teiches.

Die Vorgabe von Grenzwerten für Schwermetallgehalte in Fischgewässern ist problematisch, da die Toxizität von vielen Faktoren beeinflusst wird. Als Orientierungshilfe können in Anlehnung an DEUFEL (zit. in HÜTTER 1990) für Cadmium  $5 \mu\text{g/l}$  genannt werden. Diese Konzentration ergibt sich aus der Möglichkeit der Anreicherung über die Nahrungskette bis zum Menschen, ein früher nicht berücksichtigtes Problem: Beispielsweise nannte LIEBMANN (1960) in seinem Standardwerk der Frisch- und Abwasserbiologie für Fische 3-20 mg/l Cadmiumverbindungen als tolerierbar.

Der Teichboden des Dammühlteiches wurde am Einlauf beginnend zu etwa einem Drittel entschlammt. Eine von der Gemeinde angeforderte Analyse des Sedimentes ergab 1992 einen Cd-Gehalt von  $22 \text{ mg/kg TM}$ , der Schlamm war damit entsprechend der Klärschlammverordnung für landwirtschaftliche Verwertung ungeeignet. Inwieweit diese eine Schlammprobe repräsentativ war,

bleibt dahingestellt. In diesem Zusammenhang wurden 1992/1993 im Auftrag der Gemeinde durch unser Labor auch andere Teiche in Oppach untersucht. Der Auenmühlteich, direkt unterhalb des ehemaligen Betriebes gelegen, wies extrem hohe Cd-Werte auf: 2179 bzw. 1071 mg/kg TM. Der Schulteich, nicht von den bewußten Galvanikabwässern beeinflusst, hat mit 7,7 mg/kg TM keine wesentlich erhöhten Cadmiumgehalte. Das Sediment des Grenzmühlteiches schließlich, welcher unterhalb des Dammühlteiches liegt, hat eine diesem vergleichbare Cd-Konzentration von 20,8 mg/kg TM.

1993 (nach der teilweisen Entschlammung) ergaben elf Routinemessungen am Ablauf des Dammühlteiches einen Mittelwert von 1,06 µg/l Cd bei einer Standardabweichung von 0,32 µg/l. Insgesamt wurde 1993 an 43 Oberlausitzer Anlagen untersucht, 325 mal Cd im Ablauf gemessen. Alle Anlagen mit Cd-Mittelwerten größer 1 µg/l haben im Vergleich zu Oppach wesentlich höhere Standardabweichungen: Doberschau, Ebersbach, Hirschfelde, Görlitz-West, Elstra alle mit  $s > 2$  µg/l, Kodersdorf  $s > 1$  µg/l. Dies deutet auf diskontinuierliche, aktuelle Einleitungen, welche Ausreiser verursachen, aber nicht, wie im Falle Oppach, auf eine immer noch vorhandene, meßbar erhöhte Grundbelastung, resultierend aus geringer, aber kontinuierlicher Rücklösung aus den Sedimenten. Eine **v e r s t ä r k t e** Freisetzung aus dem Teichboden ist bei den im Teich herrschenden pH-Werten von 7 und mehr offensichtlich nicht zu befürchten.

## **Beispiel 2: Aufklärung einer bedeutenden Cd-Kontaminationsquelle**

Sowohl die absolute Höhe der Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm als auch das Verteilungsverhältnis der einzelnen Schwermetalle geben wichtige Hinweise auf evt. gewerbliche Beeinflussungen. Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei und Zink liegen in normalen häuslichen Abwässern in bestimmten Relationen vor, mittels statistischer Verfahren (Clusteranalyse) können abweichende Muster erkannt werden. Die Kontaminationsquellen wiederum können dann mittels der Sielhautanalytik aufgespürt werden (GUTEKUNST & HAHN 1986). Dabei wird die Schwermetall-Anreicherung des Bakterienrasens in der Kanalisation (der Sielhaut) genutzt. Diese Methode ist unabhängig von der aktuellen Konzentration in der fließenden Welle und erfaßt häufig wiederkehrende oder länger anhaltende Einleitungen, also die wahren Verursacher.

Eine interessante Untersuchung führten wir von September 1988 bis März 1989 in Radeberg durch. Der Faulschlamm der dortigen mechanischen Kläranlage mit Mischkanalisation hatte extrem hohe Cadmium- und Bleikonzentrationen. Der Mittelwert bei Cd betrug 89 mg/kg TM mit einer Standardabweichung von 26 mg/kg. Zur Einstufung verwendeten wir den Mittelwert plus zweimal Standardabweichung (womit zur Obergrenze 97,7 % bei normalverteilten Werten erfaßt werden). Damit ergaben sich für Radeberg 141 mg Cd/kg TM, ein Wert, der nach der damals gültigen TGL keinerlei Nutzung zuließ. Alle anderen 1988 im Bezirk Dresden untersuchten Klärschlämme hatten wesentlich geringere Cd-Konzentrationen (36 Anlagen, alle mit Mittelwerten kleiner oder gleich 50 mg/kg TM). In einer von uns durchgeführten Clusteranalyse wurde der Radeberger Faulschlamm deutlich von normal belasteten Schlämmen separiert.

Die Untersuchungen an der Sielhaut waren schwierig, die Kanäle meist sehr tief und zum Teil ohne Steigeisen. Wir setzen erstmals selbst entwickelte Kratzer und Bewuchskörper ein, was die Arbeit wesentlich erleichterte.

Entgegen allen anfänglichen Vermutungen (verdächtig wurde ein Elektronikbetrieb) konnte mittels der Sielhautanalytik eine Emailleschmelze, die gelbe Cadmiumpigmente einsetzt, als eindeutiger Verursacher herausgefunden werden (HORNIG et al. 1991). Mit einer Lastberechnung wiesen wir nach, daß bereits ein Schwund von 1 % der in der Schmelze eingesetzten Schwermetallsalze (Cadmiumcarbonat) ausreicht, um die hohen Cd-Konzentrationen des Klärschlammes der gesamten Stadt zu erklären. Die Cd-Konzentration der Sielhaut am weitgehend verdünnten Zufluß zur Kläranlage selbst war nicht besonders hoch, im Klärschlamm aber werden die Schwermetalle direkt angereichert: durch das Absetzen des Primärschlammes wird etwa die Hälfte derselben erfaßt.

Im Ergebnis der Sielhautuntersuchungen wurde der kontaminierte Klärschlamm zu Lasten des Betriebes deponiert. Entscheidender aber war, daß beim Verursacher kurzfristig zur Abscheidung der unlöslichen Schwermetalle ein Absetzbecken in Betrieb genommen wurde. Die Kontamination ist dadurch erheblich geringer geworden: Der Cadmium-Gehalt des Klärschlammes in Radeberg fiel von vormals 90 (1986), 80 (1887) und 89 mg/kg TM (1988) über 51 (1990) auf 19 (1991) und 14

mg/kg TM (1992).

Abschließend zu diesem Beispiel seien einige Meßwerte von 1993 aufgeführt, die zeigen, welchen Stellenwert Probenahme und Methodik haben. Eine Beprobung an 15 verschiedenen Stellen über das recht große Erdfaulbecken der Radeberger Kläranlage ergab im Juni 1993 einen Cd-Mittelwert von 19,9 mg/kg TM. Die routinemäßigen Kontrollen, bei denen i.d.R. die zuletzt zugeleiteten Schlammbereiche erfaßt werden, lieferten dagegen im 2.Halbjahr 1993 ein Mittel von 13,8 mg Cd/kg TM. Aus Untersuchungen des Schlammes entsprechend den Technischen Anleitungen Abfall bzw. Siedlungsabfall, welche zur Beurteilung die Analyse des Eluates fordern, resultierten 1992 und 1993 (jeweils fünf Meßwerte) andererseits immer Ergebnisse  $< 0,2 \mu\text{g Cd/l}$  Eluat. Wichtig ist außerdem bei allen Gegenüberstellungen, daß nur weitgehend ausgefaulte Schlämme verglichen werden. Enthalten sie noch einen hohen organischen Anteil ist der Cd-Gehalt bezüglich der Trockenmasse viel geringer: Eine komplexe Untersuchung von Rohschlamm im Juli 1993 brachte bei 17 Schlammproben 16 Cd-Werte unterhalb der in diesem Fall bei 5 mg/kg TM liegenden, statistisch gesicherten Nachweisgrenze, ein Meßwert lag bei 5,7 mg/kg TM.

### Räumliche Verteilungsmuster

Betrachtet man die Cd-Konzentrationen der Kläranlagen-Abläufe des gesamten Regierungsbezirkes Dresden (Tab. 1), wird eine deutliche Zonierung sichtbar. Die z. T. unterschiedlichen Zeiträume bzw. Anzahlen in Tab. 1 resultieren aus wechselnder Aufgabenzuordnung zu anderen Labors.

Tab. 1 Mittelwerte des Cd-Gehaltes von Kläranlagenabläufen verschiedener Gebiete  
(\* Mittelwert vom Betriebslabor Kaditz zur Verfügung gestellt)

Gebiet	Zeitraum	Anzahl der Anlagen	Anzahl der Meßwerte	Mittelwert [ $\mu\text{g/l Cd}$ ]
Oberlausitz	1992	43	304	0,50
	1993	43	325	0,51
Sächsische Schweiz	1993	9	36	0,42
Erzgebirge	1993	7	24	0,49
Raum Meißen/ Riesa/Großenhain	1993	18	140	0,38
nähere Umgebung von Dresden	1992	4	32	0,92
	1993	8	49	1,04
Dresden-Kaditz	1992 (I.HJ)	1		* 1,7
Dresden-Stetzsch	1992/93	1	10	7,70

Die Erhöhung in der Stadt Dresden und ihrem Umland gegenüber dem Rest des Bezirkes ist offensichtlich und statistisch gesichert. Bei Anwendung eines verteilungsfreien Verfahrens, dem MANN-WITHNEY-Test, ergibt sich beispielsweise für 1993 beim Vergleich der Oberlausitzer Anlagen mit denen der näheren Umgebung Dresdens nach Normal-Approximation ( $u = 2,28$ ) eine fast 99 %ige Sicherheit.

Da die Probenahmen auf den Kläranlagen stichprobenartig erfolgen, werden gewerblich bedingte Cadmium-Abwasserstöße im Ablauf in der Regel nicht gefunden (im Trockenschlamm als Akkumulation eines Teils der ankommenden Cadmiumlast aber sehr wohl). Die Ablaufwerte können somit als eine Art »Grundbelastung« betrachtet werden. Die Ursachen deren Erhöhung können, neben geologischen Gegebenheiten, in allgemeiner Umweltbelastung und statistischer Glättung (im ausgedehnten Dresner Kanalnetz, aber weniger in den Umlandgemeinden) liegen.

Die oben dargestellte räumliche Differenzierung findet sich in den Cd-Konzentrationen der Klärschlämme nicht wieder. Die »Grundbelastung« wird durch stärkere und diskontinuierliche indu-

strielle Kontaminationsquellen völlig überlagert. Die höchsten durchschnittlichen Konzentrationen bei allen von uns durchgeführten Klärschlammuntersuchungen von 1986 bis 1991 erreichen die in Tab. 2 genannten Anlagen, die Mittelwerte aller anderen liegen wesentlich tiefer (< 20 mg/kg TM). Untersucht wurden während dieser Zeit, abgesehen von zwei Kreisen, mehr oder weniger regelmäßig alle damaligen WAB-Anlagen im Bezirk. In Dresden-Kaditz, dem Zentralklärwerk der Stadt, fiel nur 1986 und 1987 Schlamm an, dessen Cd-Konzentrationen lagen bei 30 bzw. 21 mg/kg TM.

Tab. 2 Mittelwerte der Cd-Konzentrationen von Klärschlämmen (1986-1991) ausgewählter, stark belasteter Anlagen

Anlage	Anzahl der Analysen	Cd-Konzentration Mittelwert [mg/kg Tr.M.]
Radeberg	53	66,2
Bautzen	50	49,9
Riesa	64	37,3
Zittau-Ost	41	33,7

Der Radeberger Schlamm wurde schon diskutiert, auf die anderen drei werde ich noch eingehen. Tab. 2 enthält die Mittelwerte nur bis 1991, weil, unabhängig von der tatsächlich durch Umweltschutzmaßnahmen erreichten Verbesserung in Radeberg, seit 1990 ein allgemeiner, deutlicher Rückgang der gewerblichen Cd-Belastung zu verzeichnen ist (vgl. unten).

Als Zusatz sei angemerkt, daß es bei Versuchen, gewisse Gesetzmäßigkeiten in der Verteilung zu finden, leicht zu Fehlschlüssen kommen kann. Es ist beispielsweise sofort auffallend, daß bei den über 40 mir vorliegenden Mittelwerten der Cd-Konzentrationen im Klärschlamm von 1986 bis 1991 die Anlagen mit hohen Durchschnittswerten allesamt mechanische Kläranlagen sind, während bei den geringer belasteten ganz überwiegend solche mit biologischer Reinigungsstufe zu finden sind! Beim Einsatz von Belebtschlamm werden aber infolge Adsorption und Anreicherung wesentlich mehr Schwermetalle aus dem Abwasser entfernt als bei reinen Absetzprozessen. Die Ursache der gegenläufigen Befunde ist historisch bedingt: Zuerst wurden seit Beginn unseres Jahrhunderts an gewissen Belastungs-Schwerpunkten Kläranlagen gebaut, welche lediglich eine erste Reinigungsstufe enthielten. Später kamen bei Wohnungsneubauten kleinere, zweistufige Anlagen hinzu, die meist nur einen eng umgrenzten kommunalen Bereich entsorgten, aber kaum gewerblich belastet wurden. Ein moderner Ausbau der alten Klärwerke unterblieb. Dies geschieht erst in diesem Jahrzehnt.

### Zeitliche Entwicklung

Der Verursacher der Cd-Belastung des Riesaer Trockenschlammes (vgl. Tab. 2) sollte gleichfalls mittels Sielhautanalytik ermittelt werden. Diese Untersuchungen begannen erst Ende 1992. Neben dem Cadmium wurde noch nach einem Zink-Emittenten gesucht. Im Rahmen dieser Arbeiten setzten wir neben unseren inzwischen mehrfach bewährten Kratzern und PVC-Bewuchskörpern erstmals auch Säckchen mit Marmorpulver ein, was für Zink bei wesentlich geringerem Arbeitsaufwand vor Ort vergleichbare Ergebnisse brachte, nicht aber beim etwa zwei bis drei Zehnerpotenzen geringer konzentrierten Cadmium. Die Zinkquelle konnten wir finden, unsere Suche nach dem Cd-Verursacher aber wurde praktisch vom Lauf der Zeit überrollt: Als wir im Oktober 1992 mit den Untersuchungen begannen, wiesen wir an einem Probenahmepunkt im Kanalnetz einen extrem hohen Cd-Gehalt (>100 mg/kg TM) in der Sielhaut nach. Alle Zuleitungen zu dieser Stelle enthielten aber in den darauffolgenden Monaten wesentlich weniger Cadmium. An dieser Stelle selbst fanden wir im April 1993 nur noch 15,7 mg Cd/kg TM vor. Der Trockenschlamm der Riesaer Kläranlage zeigt in seiner Cd-Konzentration einen rapiden Abfall: Zwischen 1988 und 1990 lagen die Mittelwerte jeweils zwischen 36 und 44 mg/kg TM, 1991 wurden noch 27,1, 1992 20,0 und 1993 nur noch durchschnittlich 10,2 mg Cd/kg TM gefunden.

Der Rückgang der Cadmiumbelastung der Klärschlämme ist nicht auf Riesa beschränkt: 1990 lagen drei Viertel der Anlagen, bei denen in diesem Jahr Klärschlämme untersucht wurden, in ihren

durchschnittlichen Cd-Konzentrationen über 10 mg/kg TM. 1992 hatten von 42 berücksichtigten Anlagen nur noch Bautzen, Riesa, Radeberg und Dippoldiswalde mittlere Cd-Gehalte über dieser von der Klärschlammverordnung vorgegebenen Grenze. Beim in Tab. 2 erwähnten Zittau-Ost lagen die Mittelwerte schon 1992 weit unter 10 mg/kg TM, in Dippoldiswalde wurde die Marke 1993 (im Mittel 7,1 mg Cd/kg TM) unterschritten, für Bautzen (Mittelwert 1993: 18,9 mg Cd/kg TM) liegen für 1994 Bis August drei Meßwerte vor: Mittelwert: 8,3 mg/kg TM.<sup>1</sup>

Betrachtet man das gesamte Schwermetallspektrum der Schlämme, werden die Gründe der dargestellten Entwicklung deutlich: Stark rückläufige Elemente im gesamten Untersuchungsgebiet sind die Industrieindikatoren Nickel, Cadmium und Chrom, nicht aber die anderen Schwermetalle (Pb, Zn, Cu), welche überwiegend aus kommunalen Quellen oder Oberflächenabfluß stammen. Ursache der drastischen Veränderung der Zusammensetzung der Klärschlämme ist die Deindustrialisierung im Osten Deutschlands seit 1990 (HORNIG & LEHMANN 1994). Unsere Schlämme liegen jetzt (abgesehen vom Zink) in ihren Schwermetallgehalten im Niveau der westlichen Bundesländer, welche diesen Stand allerdings durch Umweltschutzmaßnahmen bei den Indirekteinleitern erreichten. Als Beispiel sei Bremen genannt: Dort fielen die Cd-Konzentrationen im Klärschlamm innerhalb eines Jahrzehnts von über 16 mg/kg TM 1980 auf knapp 3 mg/kg TM 1989, auch die anderen Schwermetallgehalte verringerten sich z.T. erheblich, seit 1989 ist eine Konstanz eingetreten (HÖPER 1992). Der Durchschnitt von 5704 Cd-Analysen westlicher Klärschlämme lag Ende der achtziger Jahre bei 4,6 mg/kg TM (VDLUFA 1989), landwirtschaftlich genutzte Schlämme enthielten im Schnitt 2,5 mg Cd/kg TM (Bericht EG-Richtlinie 86/278 1992).

Tab. 3 faßt die durchschnittlichen Cd-Konzentrationen von 1987 bis 1993 zusammen. 1989 erfolgte keine Jahresauswertung (1992 gingen infolge Programmumstellung z.T. nur die Werte des 2.Halbjahres ein). Der Tabelle liegen genau 1000 Meßwerte von 58 Abwasserbehandlungsanlagen zugrunde, das sind alle Anlagen der ehemaligen WAB Dresden GmbH bei denen Schlamm anfiel (in den Kreisen Pirna und Sebnitz nur Einzelwerte im Auftrag); es handelt sich somit um eine flächendeckende Übersicht.

Tab. 3 Entwicklung der Cd-Konzentrationen (Durchschnitt aller Meßwerte eines Jahres) der Klärschlämme des Regierungsbezirkes Dresden

Jahr	1987	1988	1990	1991	1992	1993
mittlere Cd-Konzentration [mg/kg TM]	17,1	19,1	16,1	12,3	5,4	4,2
Anzahl der Meßwerte	195	89	240	108	139	229

Für das Teilgebiet der Oberlausitz liegen die Werte ganz analog: ausgehend von 14,9 mg Cd/kg TM wurden 1990 und 1991 noch 15,5 bzw. 13,4 mg/kg TM gefunden (der einsetzende Rückgang der gewerblichen Belastung schlägt sich im Schlamm zeitverzögert nieder), 1993 dann 3,5 mg Cd/kg TM erreicht (HORNIG 1995).

Auf die Bedeutung des Rückganges der Schwermetalle im Klärschlamm für die Böden und die landwirtschaftliche Nutzung bin ich andernorts schon eingegangen (ebenda), ich möchte an dieser Stelle nochmals an die eingangs zitierte Forderung erinnern, gebietsbezogene Schwermetallbilanzen, beim Cd beginnend, zu erstellen.

Ich hoffe, daß die hier aufgeführten Beispiele und Übersichten in ihrer Dynamik und wirtschaftlichen Bedeutung den Stellenwert der Cadmiumkonzentrationen in unserer anthropogen geprägten Umwelt deutlich gemacht haben.

Mein Dank gilt ganz besonders meinem Kollege Harry Haninger, der bei allen Sielhautuntersuchungen mitarbeitete und die neuen Probenahmevarianten entwickelte. Die Schwermetallanalytik am AAS führten Kerstin Adler, Kathleen Lehmann und Kerstin Zachlehner durch, wofür ich mich ebenfalls recht herzlich bedanken möchte.

<sup>1</sup> Ende 1994/Anf. 1995 zeigten sich in Bautzen in Kläranlagenablauf und Trockenschlamm bei Cd starke Diskontinuitäten.

## Zusammenfassung

Der Cd-Gehalt von Schlämmen und Sedimenten spielt eine entscheidende Rolle bei ihrer Verwertung bzw. Entsorgung. Vorgestellt werden vier wasserwirtschaftlich, aber auch allgemein-ökologisch interessante Aspekte der Verbreitung von Cadmium im Gebiet der Oberlausitz und deren Umgebung. Ein erstes Beispiel betrifft die nach mindestens anderhalb Jahrzehnten noch vorhandenen Auswirkungen von Galvanikhavarien auf einen Teich, ein zweites schildert die Ermittlung eines bedeutenden Cd-Emittenten mittels Sielhautanalytik im Kanalnetz und resultierende Konsequenzen. Drittens werden räumliche Unterschiede des Cd-Gehaltes der Kläranlagenabläufe und der Klärschlämme gegenübergestellt. Ausgehend von einer bzgl. Cd fehlgeschlagenen Sielhautuntersuchung wird schließlich auf Grundlage von 1000 eigenen, flächendeckenden Meßwerten die zeitliche Entwicklung der Cd-Konzentrationen der Klärschlämme des Regierungsbezirkes-Bezirk Dresden von 1987-1993 als Ergebnis der Deindustrialisierung im Osten Deutschlands dargestellt.

## Literatur

- BERICHT gemäß Artikel 17 der EG-Richtlinie 86/278/EWG über die Klärschlammverwertung in der Bundesrepublik Deutschland, Berichtszeitraum 1986-1990 (1992). - Bundesumweltministerium, Ref. Öffentlichkeitsarbeit, Bonn
- DIN 38414, Teil 7 (1983): Aufschluß mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen. - Beuth Verlag Berlin
- GUTEKUNST, B. & J. HAHN (1986): Anwendung der Sielhautanalytik zur Vermeidung von Schwermetallkontaminationen im Klärschlamm. - Korrespondenz Abwasser **33**: 724-728
- HÖPER, G. (1992): Voraussetzungen und Möglichkeiten zur vollständigen Klärschlammverwertung in einer Großstadt. - Vortrag am Seminar »Bedeutung der novellierten Klärschlammverordnung aus der Sicht der Praxis« am 23.11.1992. ZAWA, Essen
- HOLLANDLISTE (1988): Leidraad bodemsanering. - Staatsuitgeverij's - Gravenhage
- HORNIG, U. (1995): Die Entwicklung der Schwermetallkonzentrationen in den Klärschlämmen der Oberlausitz in ihrer Bedeutung als Belastung für die Böden. - Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz **68**: 65-68
- & K. LEHMANN (1994): Entwicklung der Schwermetallkonzentrationen der Klärschlämme im Regierungsbezirk Dresden. - Korrespondenz Abwasser **41**: 1318-1319
- , C. KRAUSE & G. SBIESCHNI (1991): Die Ermittlung von Schwermetallkontaminanten in städtischen Kanalisationsnetzen durch Anwendung der Sielhautanalytik. - Acta hydrochim. hydrobiol. **19**: 285-293
- HÜTTER, L.A. (1990): Wasser und Wasseruntersuchung. - 4. Auflage, Otto Salle Verlag Frankfurt a. M. und Verlag Sauerländer Aarau
- KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (AbfKlärV) vom 15. April 1992. - BGBl. Teil I: 912-934
- LIEBMANN, H. (1960): Handbuch der Frischwasser- und Abwasser-Biologie, Band II. - Gustav Fischer Verlag Jena
- MÖNICKE, R. (1994): Nähr- und Schadstoffaspekte bei der Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft. - Korrespondenz Abwasser **41**: 1320-1329
- MOLL, W.L.H. (1987): Taschenbuch für Umweltschutz, Band IV: Chemikalien in der Umwelt. - E. Reinhardt Verlag München Basel
- TRITT, W.P. (1994): Zur Problematik der Akzeptanz von Klärschlämmen. - Korrespondenz Abwasser **41**, 1306-1316
- VDLUFA - Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsgemeinschaften (1989): Nähr- und Schadstoffgehalte in Klär- und Flußschlämmen, Müll und Müllkomposten. - Datenerhebung im Auftrag des BML (unveröff.)

Anschrift des Verfassers:

Uwe Hornig  
c/o Dresden Wasser und Abwasser GmbH  
Abteilung Umweltanalytik & Abwasserverfahrenstechnik  
Georgswalder Str./ PF 162  
D-02728 Ebersbach

## Buchbesprechung

**Flóra Slovenska V/1** / BERTOVIÁ, Lydia & Kornélia GOLIASOVÁ (Hrsg.), VEDA, Bratislava 1993, ISBN 80-224-0349-0 (bzw. 80-224-0189-7 für das Gesamtwerk), 504 S., 40 Tafeln, 60 Verbreitungskarten.

Mit diesem Band liegt der 7. Teil der für 18 Teile konzipierten slowakischen Flora vor. Das Gesamtwerk wurde 1966 mit den ersten beiden Bänden begonnen, danach stagnierte es. Seit 1982 erschienen weitere Teile in relativ rascher Folge. Die von Anfang an durchdachte Konzeption ist fast unverändert beibehalten worden. Neben den Bestimmungsschlüsseln findet man bei jeder Art bzw. Unterart die Angaben zu Synonymen, Beschreibung, Chromosomenzahlen slowakischer Populationen (im Band V/1 erstmalig durchgängig mit Literaturzitat und geographischer Herkunft), Angaben zu Biologie, Ökologie und Phytozoölogie und schließlich ausführliche Angaben zur Verbreitung in der Slowakei, wobei (abgesehen von einigen sehr häufigen und unkritischen Arten) die einzelnen Fundorte mit Herbarbeleg bzw. Literaturzitat aufgeführt sind.

Der Band V/1 enthält folgende Familien: Hydrophyllaceae, Heliotropiaceae, Boraginaceae (s. str.), Verbenaceae und Lamiaceae. Er ist ein Gemeinschaftswerk von 21 slowakischen und tschechischen Autoren. Ungewohnt, aber in der Slowakei und in Tschechien üblich, ist die mitunter recht enge Auffassung der Gattungen. Wie das Gesamtwerk ist auch dieser Band in slowakischer Sprache verfaßt. Erfreulicherweise sind aber erstmalig sämtliche Bestimmungsschlüssel (ebenso wie das Vorwort) auch in englischer Übersetzung wiedergegeben. Weiterhin findet man ein slowakisch-englisches Vokabular ausgewählter chorologischer und ökologischer Termini. Die Benutzung wird durch Habitus- und Detailzeichnungen von ca. 100 Arten erleichtert. Allerdings sind diese nicht immer instruktiv.

So lassen sie z.B. charakteristische Unterscheidungsmerkmale von Arten der *Myosotis palustris*-Gruppe nicht erkennen. Die Verbreitungskarten sind überwiegend Punktkarten, bei einigen häufigeren Arten jedoch (auch das ist neu) Rasterkarten auf der Basis des in Deutschland üblichen und nun extrapolierten Meßtischblattgitters.

Noch einmal zum Gesamtwerk: Nach wie vor interessieren sich viele deutsche und andere ausländische Botaniker für die Pflanzenwelt der Slowakei oder zumindest bestimmte systematische Gruppen. Ungeachtet mancher sprachlicher Barrieren (die im übrigen für jeden, der Kenntnisse in einer beliebigen slawischen Sprache hat, überwindbar sind) ist die *Flóra Slovenska* eine wichtige Informationsquelle, an der man nicht vorbei kommt.

Siegfried Bräutigam