

**Die Schwermetallanreicherung im
Klärschlamm der Kläranlage Leoben
(Steiermark)**

Diplomarbeit

Vorgelegt von:
Thomas Windisch

Betreut von:
Ao.Univ.-Prof. Mag. et Dr. rer. nat. G. Rantitsch
Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht verwendet und benutzte Quellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Thomas Windisch am 15.05.2008

Danksagung

Ich danke Herrn Dr. Gerd Rantitsch für die Vergabe dieser Diplomarbeit, für die wissenschaftliche Betreuung, der kritischen Durchsicht mehrerer Rohfassungen, seiner Verbesserungsvorschläge sowie der ständigen Hilfsbereitschaft und der freundschaftlichen Zusammenarbeit.

Bei Frau Dr. Birgit Runge möchte ich mich für die Analysen, ihre Einsatzbereitschaft, ihre tatkräftige Unterstützung sowie die ausgesprochene freundliche und kurzlebige Zusammenarbeit bedanken.

Bei der IVUS-Projektgruppe gilt mein besonderer Dank Frau Mag. Marion Reinhofer, Frau DI Elisabeth Gaisberger, Herrn DI Gert Gaisberger und Herrn Andreas Stetina für die freundliche Kooperation.

Bei Herrn Franz Seidl möchte ich mich für die Erstellung der Röntgendiffraktogramme und bei Herrn Hubert Falk für die Durchführung der Röntgenfluoreszenzanalyse bedanken.

Bei Herrn Dr. Heinz Mali und Herrn Dr. Walter Prochaska bedanke ich mich für die konstruktiven Gespräche bei Überlegungen zur Diplomarbeit und sonstigen Arbeiten.

Besonderen Dank gilt Katrin Högel für die ständige Hilfsbereitschaft und vor allem ihre humorvolle unentbehrliche Unterstützung in allen Lebenslagen.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern Gerda und Georg Windisch sowie meinen Geschwistern Edeltraud, Eleonora, Margarete und Georg, die mich während meiner gesamten Studienzeit in allen Belangen großartig unterstützt haben.

Abstract

The accumulation of heavy metals in the sewage sludge treatment plant of Leoben (Styria, Austria)

The Reinhaltungsverband Leoben (Styria) operates a sewage sludge composting facility since 1997, converting sewage sludge mixed with waste into compost. The sewage sludge comes from communal sources and generally meets the quality criteria of compost from household refuse (BGBl. II, No. 292/2001). Occasionally, the maximum limits for chrome, nickel, and mercury are exceeded.

Samples of the sewage sludge, the in- and outflowing water, the process water, as well as delivered sludges from Göss, Mautern, St. Lorenzen and Aflenz have been taken and analyzed in the time interval between May 2005 to July 2006.

The heavy metals enter the sludge facility mainly in the form of particles $>0,2\mu\text{m}$. A direct comparison of in- and outflow is generally not possible, since the sludge facility also absorbs and processes aggregate matter.

Due to the contribution of aggregate matter, the time series analysis of the studied sewage sludge provides only limited information. It is notable that the sludge produced during spring clearly contains less chrome and nickel. During the time of the snowmelt and during a period of enhanced dust pollution in spring, the levels of chrome and nickel in the sludge raise significantly. It is supposed that snow and ice act as repositories of dust and street-gravel. Consequently, the quality of the sewage sludge in Leoben with respect to its chrome and nickel content depends on the season and on the quantity and the type of precipitation.

Sporadically exceeding levels of chrome and nickel can be a result of the increased dust exposure from the heavy industry, the use of street-gravel with high chrome and nickel concentrations, or the geogenic contamination of the surroundings of Leoben.

X-ray-analysis and analysis with scanning electron microscope (Herr, diploma thesis at the University of Leoben 2007) indicate that industrial dust influences the concentration of heavy metals in the sewage sludge. The study suggests that street-gravel does not contribute significantly to the heavy metal content of the sewage sludge.

Zusammenfassung

Der Reinhaltungsverband Leoben (Steiermark) betreibt seit 1997 eine Klärschlammkompostierungsanlage, in welcher Klärschlamm zusammen mit Strauchschnitt zu Kompost verarbeitet wird. Der in Verwendung stehende kommunale Klärschlamm erfüllt im Allgemeinen die Anforderungen gemäß der Verordnung über die Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung, BGBl. II Nr. 292/2001). Fallweise werden die Grenzwerte für Chrom, Nickel und Quecksilber allerdings überschritten.

Beprobte und analysiert wurden der Klärschlamm, der Zulauf, der Ablauf, das Sandwaschwasser und das Presswasser der Kläranlage Leoben sowie die angelieferten Fremdschlämme aus Göss, Mautern, St. Lorenzen und Aflenz im Zeitraum Mai 2005 bis Juli 2006.

Die Schwermetallfrachten werden größtenteils in Partikeln $>0,2\text{m}$ in die Kläranlage eingebracht. Ein direkter Vergleich von Zu- und Ablauf ist im Allgemeinen nicht möglich, da in der Kläranlage auch Zuschlagstoffe übernommen und verarbeitet werden.

Aufgrund der Übernahme der Zuschlagstoffe kann die Zeitreihe der untersuchten Klärschlämme nur bedingt Aufschluss über die Grenzwertüberschreitungen geben. Festzuhalten ist, dass im Frühjahr der erzeugte Klärschlamm deutlich weniger mit Chrom und Nickel belastet ist. Mit einsetzender Schneeschmelze, unter Berücksichtigung der Dauer des Reinigungsprozesses, steigen die Werte für Chrom und Nickel stark an. Es wird deswegen vermutet, dass Schnee und Eis als Speicher des Staubs und Streusplitts fungieren. Die Qualität des Leobner Klärschlammes hinsichtlich der Chrom- und Nickel-Gehalte hängt also von der Jahreszeit und der mit ihr verbundener Niederschlagsmenge und Niederschlagsart zusammen.

Die vereinzelt Chrom- und Nickel-Grenzwertüberschreitungen können durch die erhöhte Staubbelastung aus der Schwerindustrie, die Verwendung des an Chrom und Nickel belasteten Streusplitts, oder durch die geogene Hintergrundbelastung im Großraum Leobens entstehen. Röntgendiffraktometrische Untersuchungen sowie auch Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskop (Herr, Diplomarbeit an der

Montanuniversität Leoben 2007) weisen jedoch darauf hin, dass der Industriestaub die Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm beeinflusst. Eine maßgebliche Beteiligung des Streusplitts zum Schwermetallgehalt des Klärschlammes konnte nicht nachgewiesen werden.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	10
1.1	Untersuchungsgebiet	13
1.2	Geologische Position	14
1.3	Staubbelastung in Leoben	17
2	Kläranlage Leoben	19
2.1	Kanalisation	20
2.2	Aufbau und Funktionsweise der Kläranlage	21
2.3	Gesetzliche Richtlinien zur Kompostierung	25
3	Einzugsgebiet der Kläranlage	27
4	Eintragsquellen von Schwermetallen	28
4.1	Einleitung	28
4.2	Haushalts- und Oberflächenabwässer	29
4.3	Bilanzierung des Einzugsgebiets	38
5	Methodik	42
5.1	Probenahme	42
5.1.1	Klärschlämme der Kläranlage Leoben	42
5.1.2	Fremdschlamm aus Göss, Mautern, Aflenz und St. Lorenzen	45
5.1.3	Wasserproben am Zulauf	45
5.1.4	Presswasser	48
5.1.5	Sandwaschwasser	49
5.1.6	Wasserproben am Ablauf	49
5.1.7	Filtrierte Proben	51
5.1.8	Röntgenfluoreszenzproben	51
5.1.9	Röntgendiffraktometerproben	51
5.1.10	Glühverlust	51
5.2	Probenvorbereitung	52
5.3	Aufschluss - Massenspektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasma als Ionenquelle	52
5.4	Aufschluss - Röntgenfluoreszenzanalyse	53
5.5	Chemische Analyse	53

6	Resultate	55
6.1	Klär- und Fremdschlämme	55
6.1.1	Klärschlamm der Kläranlage Leoben	58
6.1.2	Fremdschlamm aus Göss, Mautern, Aflenz und St. Lorenzen	58
6.1.3	Röntgenfluoreszenzanalyse	60
6.1.4	Röntgendiffraktometrie	61
6.2	Zulauf	62
6.3	Ablauf	62
6.4	Filtrate	63
6.5	Sequentielle Extraktion	64
7	Diskussion	66
7.1	Einleitung	66
7.2	Staubbelastung	66
7.3	Wasser	68
7.4	Klärschlamm	77
7.4.1	Röntgenfluoreszenzanalysen an Klär- und Fremdschlämmen	78
7.4.2	Röntgendiffraktometrische Untersuchungen an Klärschlämmen	80
7.5	Sequentielle Extraktion	82
8	Schlussfolgerungen	83

Literaturverzeichnis

Appendix

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Daten

Veröffentlichungen

1 Einleitung

Klärschlämme kommunaler Kläranlagen enthalten neben zahlreichen organischen Verbindungen und Nährstoffen auch große Mengen an organischen und anorganischen Schadstoffen. Eine attraktive Alternative zur Deponie oder Verbrennung der Abfallstoffe ist aufgrund der hohen Gehalte an Stickstoff und Phosphor die Aufbringung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen oder die Verwendung als Kompostrohstoff, der unter anderem zum Bau von Böschungen genutzt werden kann. Die Verwendung von Klärschlämmen ist im hohen Maße problematisch, da diese stellenweise sehr stark mit toxischen Schwermetallen belastet sein können. Diese können, insbesondere durch sauren Regen, mobilisiert werden, wodurch ihre Bioverfügbarkeit durch den Transport ins Grundwasser sowie durch die Aufnahme durch Pflanzen erhöht wird. Dies kann letztlich zur Akkumulation von Schwermetallen in der Nahrungskette führen. (Runge et. al., 2006)

Ein signifikanter Anteil an anthropogenen Emissionen von Schwermetallen wird im kommunalen Abwasser gesammelt. Neben den für kommunales Abwasser spezifischen Eintragsquellen, wie Haushalte, Kleingewerbe, Dachwässer und Straßenabwässer, kommen für den Leobner Klärschlamm auch zahlreiche Indirekteinleiter, die Deposition, insbesondere aus der Schwerindustrie, die geologische Hintergrundbelastung der Region und die Aufbringung des Chrom- und Nickel-belasteten Streusplitts aus Preg (Melcher et al., 2002) als Belastungsquellen in Frage. Als Grundlagen des Projektes IVUS dienen die Ergebnisse eines Vorprojekts von Reinhofer et. al. (2003). Mittels geochemischen und mineralogischen Untersuchungen sollen die steuernden Faktoren des Schwermetalleintrags in die Kläranlage bestimmt werden.

Die Schwermetallbelastung von Klärschlämmen ist in vielen Arbeiten beschrieben worden (z. B.: Zessner, 1999; Karvelas et. al., 2003; Obernberger & Supancic, 2007). Nach derzeitigem Wissenstand ist aber eine Zuordnung der vorhandenen Schwermetallanreicherungen im Klärschlamm zu den einzelnen Quellen nur bedingt möglich und damit sind zielgerichtete Vermeidungsmaßnahmen derzeit kaum durchführbar.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es die Schwermetalldepositionen im Leobner Klärschlamm in ihrer tages- und auch jahreszeitlichen Variation zu untersuchen. Aufgrund einiger Grenzwertüberschreitungen und Messwerte nahe bzw. knapp unter den Grenzwerten

für die Weiterverarbeitung von Klärschlamm zu Kompost (Kompostverordnung, BGBl. II Nr. 292/2001), sind für die Leobner Kläranlage vor allem die Gehalte der Elemente Chrom und Nickel im Klärschlamm sowie deren potentiellen Eintragsquellen von Interesse. Die Diplomarbeit wurde im Zuge des Projektes IVUS (Identifikation vermeidbarer sowie unvermeidbarer Schadstoffquellen am Beispiel der Leobner Kläranlage und ihres Einzugsgebietes) erstellt. Die Projektpartner waren das Institut für Analytische Chemie der Karl Franzens Universität Graz (W. Goessler, D. Mucic), der Lehrstuhl für Geophysik (R. Scholger, E. Herr) und der Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre (G. Rantitsch, T. Windisch) der Montanuniversität Leoben sowie das Zivilingenieurbüro (W. Diebold) für Kulturtechnik. Das Projekt wurde vom Institut für nachhaltige Techniken und Systeme, Joanneum Research (M. Reinhofer) im Auftrag des Reinhaltverbandes Leoben koordiniert. Die Tab. 1 zeigt einen Überblick über die untersuchten Medien der Kläranlage Leoben.

Kläranlage	
Mischwasserzulauf (Zulauf)	Montanuniversität Leoben
Kanalräumgut flüssige Phase	Analytische Chemie Graz
Kanalräumgut Grobstoffe	Analytische Chemie Graz
Grubeninhalte vor Übernahme	Analytische Chemie Graz
Fremdschlämme bei Übernahme	Montanuniversität Leoben
Schlamm aus VRA Göss vor Übernahme	Montanuniversität Leoben
Rechengut Grobstoffe	Analytische Chemie Graz
Rechengut ausgepresstes Wasser (Presswasser)	Montanuniversität Leoben
Grobstoffe vor Fäkalübernahme	Analytische Chemie Graz
Zulauf Faulung nach Fäkalübernahme	Analytische Chemie Graz
Gewaschener Sand	Analytische Chemie Graz
Sandwaschwasser	Montanuniversität Leoben
Ausgefaulter, entwässerter Klärschlamm	Montanuniversität Leoben
Gereinigtes Abwasser (Ablauf)	Montanuniversität Leoben
Kompostierung	
Strukturmaterial	Analytische Chemie Graz
Staubanhaftung am Strukturmaterial	Analytische Chemie Graz
Hilfsstoffe (Stroh, Zuschlagstoffe etc.)	Analytische Chemie Graz
Siebüberlauf	Analytische Chemie Graz
Aufgesetzte Miete	Analytische Chemie Graz
Fertigkompost	Analytische Chemie Graz

Tab. 1: Untersuchte Medien der Kläranlage Leoben (aus Reinhofer et. al., 2007)

Das eingeleitete Abwasser am Zulauf, das gereinigte Abwasser am Ablauf und der Leobner Klärschlamm wurde großteils in eigenständiger Arbeit beprobt (Tab. 1,

Montanuniversität Leoben). Proben der angelieferten Schlämme aus Göss, St. Lorenzen, Mautern und Aflenz, des Sandwaschwassers und des Presswassers wurden unter Mitwirkung der Kläranlagenmitarbeiter gezogen (Tab. 1). Die Beprobung wurde anhand der Ergebnisse des Vorprojekts (Reinhofer et. al., 2003) durchgeführt und nach der ersten Beprobungsphase teilweise adaptiert. Um eine Klärschlammzeitreihe über ein Modelljahr anfertigen zu können und damit etwaige saisonale Schwankungen der Schwermetallgehalte im Klärschlamm feststellen zu können, wurde die Beprobung des Klärschlammes ab September 2005 auf eine bzw. zwei Probenahmen pro Woche umgestellt. Der Interpretation der Klärschlammzeitreihe (Abb. 39) liegen gleich bleibende kommunale und industrielle (AT&S und VÖST) Einträge zugrunde.

Zusätzlich zu den Schwermetallanalysen erfolgte bei Strauchschnitt-, Klärschlamm- und Kompostproben die Messung der magnetischen Suszeptibilität (Herr, 2007). Ziel dieser Untersuchungen war es, die Einsatzmöglichkeit magnetischer Parameter als Indikatoren für umweltrelevante Schwermetalle im Raum Leoben zu untersuchen.

Erste Ergebnisse wurden in Runge et. al. (2006, 2007), Windisch et. al. (2006), Reinhofer et. al. (2007) und Rantitsch et. al. (2008, im Druck) veröffentlicht (s. Appendix).

1.1 Untersuchungsgebiet

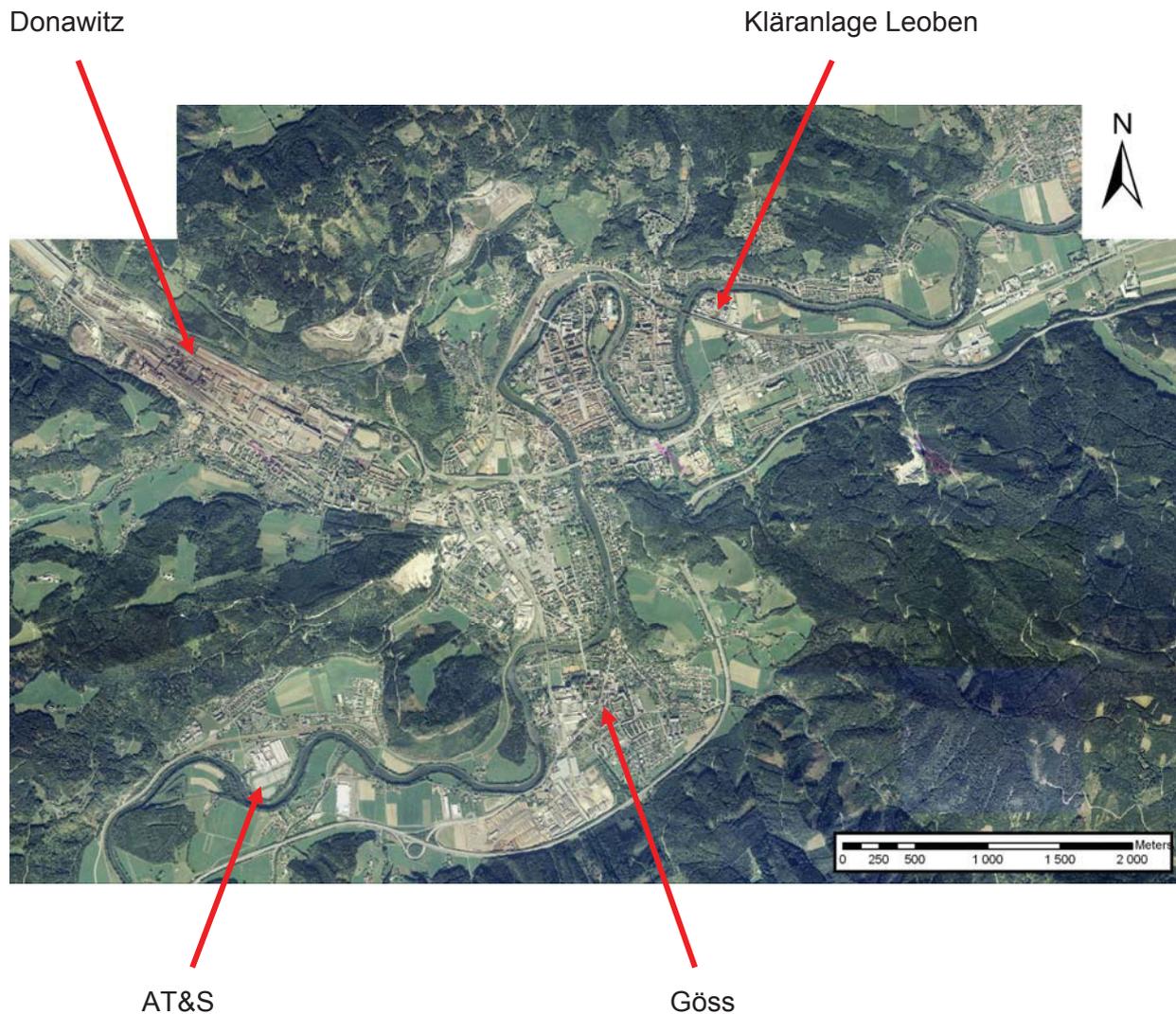


Abb. 1: Luftbildaufnahme Leoben (zur Verfügung gestellt von der Stadt Leoben)

Leoben ist die zweitgrößte Stadt in der Steiermark und liegt im Murtal an der Einmündung des Vordernbergerbachs, des Gössbachs, des Schladnitzbachs und des Karrenbachs. Das Stadtgebiet Leoben umfasst 107,77 km². Davon werden 9,73 km² landwirtschaftlich, 0,52 km² als Garten, 84,80 km² als Wald und 5,68 km² als Bauland genutzt. 4,85 km² werden als Grundstücke und 1,28 km² als Gewässer ausgewiesen. Die Einwohnerzahl liegt (Stand 01.04.2008) bei 28 039 ständigen und nicht ständigen Einwohnern. [www.leoben.at, Zugriff April 2008]

1.2 Geologische Position

Als Einflussfaktoren für die Schwermetallanreicherung im Leobner Klärschlamm können die geogene Hintergrundbelastung und der aufgebrauchte Streusplitt aus Preg genannt werden.

Leoben liegt im Ostteil der Grauwackenzone. Die Grauwackenzone bildet die Basis des oberostalpinen Deckensystems mit einer Schichtfolge aus dem Ordovizium bis Oberkarbon. Die östliche Grauwackenzone zeigt einen alpidischen Deckenbau mit einigen Kristallineinschuppungen. Im Allgemeinen sind die Gesteine geschiefert und zeigen einen Metamorphosegrad bis in die Grünschieferfazies. (Tollmann, 1977; Schönlaub, 1979, 1980; Schönlaub & Heinisch, 1993).

Die Deckeneinheiten der Grauwackenzone gliedern sich vom Liegenden ins Hangende in örtlich bis zu vier überlagernden Decken, der Veitscher Decke, der Silbersberg Decke, der Kaintaleck Decke sowie der Norischen Decke (Neubauer et. al., 1994). Die Silbersberg und Kaintaleck Decke treten von Leoben ostwärts bis Gloggnitz verbreitet auf. Westlich von Leoben treten meist die Veitscher Decke und die Norische Decke auf. (Ebner et. al., 2001)

Die Norische Decke besteht neben Kalken, Marmoren, Phylliten, Sandsteinen und Metatuffiten auch aus zahlreichen Siderit-Ankerit-Vererzungen. Nördlich von Leoben Richtung Ortsteil Judendorf befinden sich Bänderkalke und Phyllite sowie auch inneralpines Neogen und reichen bis an die nordöstlich Talseite von Donawitz. An der südwestlichen Talseite des Vordernbergerbachs befindet sich Glimmerschiefer.

Das als Halbgraben ausgebildete miozäne Leobner Becken liegt auf den mit pleistozänen Niederterrassen (Würm) und höheren Terrassen (Präwürm), Hangschutt und alluvialen Talboden teilweise bedeckten, nach Süden einfallenden, Phylliten der Norischen Decke. Die Sedimente im Leobner Becken werden nach Gruber et. al. (2001) vom Liegenden ins Hangende als Brekzien (Basisschichten), darüber liegende Kohleflöze, Silte, Tonschiefer und Mergel in Wechsellagerung mit Sandsteinen, Konglomerat und Brekzien beschrieben. Im südwestlichen Teil sind dunkle Schiefer der Veitscher Decke als Liegendes aufgeschlossen. (Gruber et. al., 2004)

Das südlich an das Leobner Becken angrenzende ostalpine Kristallin besteht aus Amphiboliten, Gneisen, Serpentiniten/Ultramafiten und Glimmerschiefern.

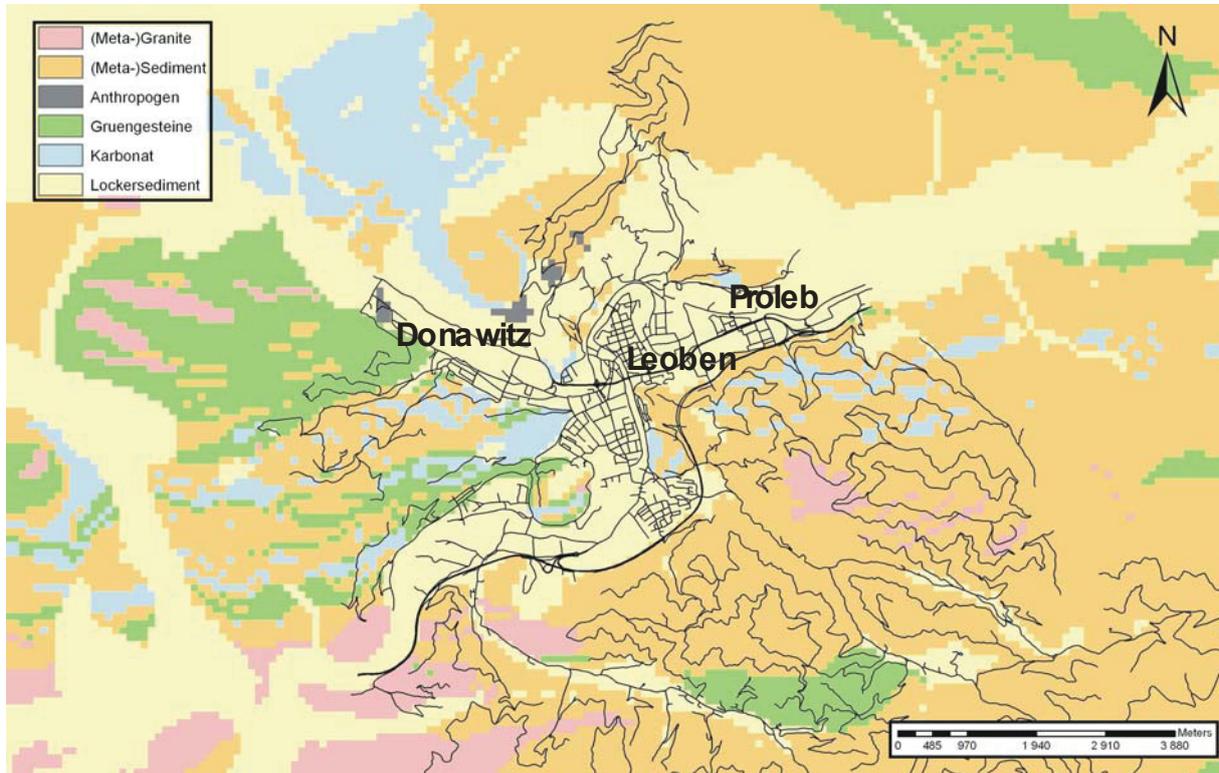


Abb. 2 Lithotypen aus der Geologische Karte der Steiermark (Flügel & Neubauer, 1984), mit dem Straßennetz Leoben

Der infolge des Winterdienstes aufgebrauchte Streusplitt kommt aus dem Steinbruch in Preg. Dieser gehört zum Kraubather Ophiolithkomplex. Die Abfolge eines Ophiolithkomplexes besteht im Allgemeinen vom Liegenden ins Hangende aus Serpentinitt - Gabbro - Sheeted Dykes - Kissen(Pillow)-Lava und darüber gelagerte Tiefseesedimente.

Das Hartsteinwerk Ponat-Preg GmbH liegt zwischen Kraubath und St. Lorenzen und zählt zu den bedeutendsten Erzeugern von Hartgestein in Österreich. Seit Beginn des 19. Jahrhunderts werden am Standort Preg mehr oder weniger stark serpentinisierte Dunite und Periododite sowie Bronzite aus dem Kraubather Ultramafitstock abgebaut. Der vorliegende Rohstoff zeichnet sich als hart, zäh, griffig und abriebfest aus. Preger

Hartgestein wird im Straßen-, Beton-, und Wasserbau und im Eisenbahnbau eingesetzt. [www.pronat.at/, Zugriff Mai 2008)

Das in der Stadt Leoben als Streusplitt verwendete ultramafische Gestein weist einen sehr hohen Anteil an Nickel (bis 0,23 Gew.-%) und Chrom (bis 0,50 Gew.-%) auf (Haditsch et al; 2002; Melcher et al, 2002). Der Schwermetalleintrag infolge des Winterdiensts wurde daher näher untersucht.

1.3 Staubbelastung in Leoben

Die atmosphärische Verfrachtung von schwermetallbelasteten Schwerindustriestaub und der damit verbundenen potentiellen Eintragsmöglichkeit in das Kläranlagensystem ist in Hinblick auf den Schwermetallgehalt des Leobner Klärschlammes von Interesse.

Aufgrund von Untersuchungen der Luftgüteüberwachung der Steiermärkischen Landesregierung, können für den Zeitraum von 1990 bis 1998 für die Messstelle Leoben vier Hauptwindrichtungen angegeben werden. Winde nach Süden kommen demnach am häufigsten vor, gefolgt von nordost-, nord- und südgerichteten Winden. [www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10077998/2061730/, Zugriff April 2008]

Für die Messstelle Göss sind die Windrichtungen Nordost, Ost, Südost, Süd und Südwest annähernd gleich häufig. Die Monatsmittelwerte der Windstärken variieren zwischen 0,7 und 1,2 m/s.

[www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10076359/2061730/, Zugriff April 2008]

Nach Rantitsch in Reinhofer et. al., 2007 ist die Belastung der Stadt Leoben durch den Donawitzer Industriestaub evident (siehe auch Hanesch et. al, 2003). Dies zeigt sich nicht nur in diversen Verbreitungskarten der Schwermetalldaten der Luftgüteüberwachung (Daten vom Jänner 2005 bis Juni 2006), sondern auch in deren multivariater statistischen Analyse. Die regionalisierten Ergebnisse zeigen deutlich das Emissionszentrum in Donawitz und den Bereich der Schlackenhalde mit einer windverfrachteten Ausbreitung des Industriestaubes. Östlich von Proleb kann kein Einfluss mehr nachgewiesen werden. Auch lässt sich die Müllverbrennungsanlage in Niklasdorf mit diesen Daten nicht erkennen.

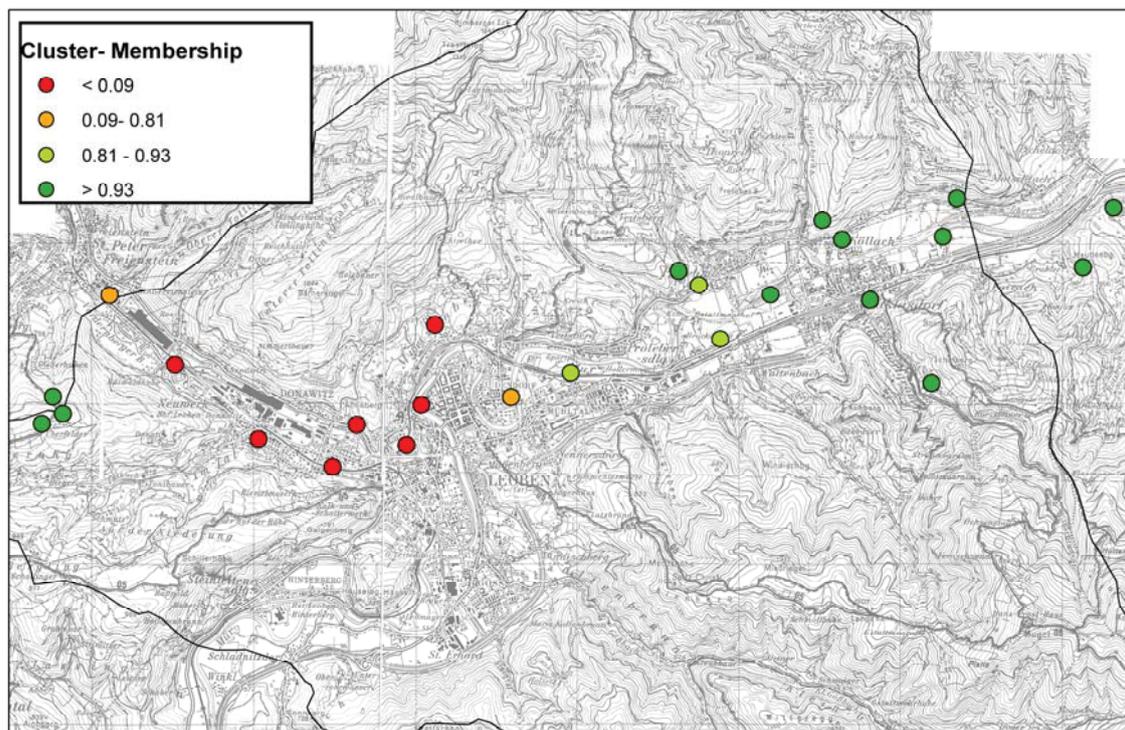


Abb. 3: Cluster-Mitgliedschaft der Schwermetallgehalte an den Messstellen im Raum Leoben (Daten vom Jänner 2005 bis Juni 2006 aus der steirischen Luftgüteüberwachung, Rantitsch in Reinhofer et. al., 2007)

Das Zentrum der Staubproduktion in Donawitz ist hingegen eindeutig erkennbar.

Das Nordwest-Südost orientierte Vordernbergertal ist nach durch Talauswinde aus Nordwest in den Morgenstunden und Taleinwinde aus Südost im weiteren Tagesverlauf gekennzeichnet. Im Allgemeinen ist das Gebiet um Donawitz von geringen Windgeschwindigkeiten geprägt. (Weiss & Trimbacher, 1998; Semmelrock, 2004)

Das lässt vermuten, dass der Staub nur geringfügig verfrachtet wird und somit im näheren Umfeld des Ausstoßes deponiert wird.

2 Kläranlage Leoben

Um eine technisch günstige Abwasserentsorgung und eine damit einhergehenden Verbesserung der Wassergüte der Mur erreichen zu können, haben sich die Stadtgemeinde Leoben, die Gemeinde St. Peter-Freienstein und die Gösser Brauerei im Jahr 1977 zum Reinhaltungsverband Leoben zusammengeschlossen. Beschlossen wurde der Bau einer regionalen vollbiologischen Kläranlage nach dem Belebtschlammssystem mit feinblasiger Belüftung und Faulgasverwertung. In dieser Kläranlage werden die Abwässer aus Leoben sowie aus St. Peter-Freienstein und die industriellen Abwässer aus der Gösser Brauerei gereinigt und in die Mur eingeleitet. (Stadtgemeinde Leoben, undatierte Broschüre)

Die im März 1983 in Betrieb genommene Anlage wurde aufgrund der Abwassermengen und Einwohnergleichwerte bemessen. Der Einwohnergleichwert (EGW) dient als Referenzwert für den Grad der Verschmutzung des Abwassers. Die anfallenden Abwässer der Industriebetriebe werden hinsichtlich der Einwirkung ihrer Schmutzstoffe auf das Gewässer mit der vergleichbaren Schmutzlast von Einwohnern rechnerisch berücksichtigt. Die Kläranlage Leoben wurde vorerst für 100000 EGW konzipiert. Diese gliedern sich in 40000 EGW für die Stadt Leoben, 25000 EGW für Industrie und Gewerbe (ohne Hüttenwerk Donawitz), 3000 EGW für die Nachbargemeinde St. Peter-Freienstein und 32000 EGW für die Brauerei Göss. (Reinhaltungsverband Leoben, undatierte Broschüre a)

Aufgrund des Erscheinens der Wasserrechtsnovelle 1990 war es notwendig die Kläranlage den Stand der Technik anzupassen. Die Ausbaugröße der Kläranlage wurde daraufhin mit 135000 EGW festgelegt. Darauf fallen 85500 EGW für die Stadt Leoben, 5000 für die Gemeinde St. Peter-Freienstein, 42000 EGW für die Brauerei Göss und 2500 EGW als Reserve. Mit der Umsetzung der Indirekteinleiterverordnung und aus Entsorgungsverträgen mit Industrie- und Gewerbebetrieben gelang der Nachweis, dass der Anteil des Abwassers aus Industrie und Gewerbe größer als angenommen war. Dies führte zu einer Reduktion der EGW auf 90000, da das Industrieabwasser aus betrieblichen Vorreinigungsanlagen in das Kanalnetz gelangt. (Reinhaltungsverband Leoben, undatierte Broschüre b)

Die Abwässer der Brauerei Göss wurden kurze Zeit nach der Inbetriebnahme der Verbandskläranlage über das Kanalnetz der Stadtgemeinde Leoben in die Kläranlage eingespeist. Die Frachten der Gösser Brauerei waren dabei wesentlich höher als der festgelegte Konsensanteil an der Kläranlage. Deswegen wurde am Betriebsgelände der Brauerei Göss vorerst ein Hochlasttropfkörper als Vorreinigungsanlage und in späterer Folge eine Vorreinigungsanlage mit anaeroben System errichtet. Durch diese neue Verfahrenstechnik konnte der ursprünglich benötigte Anteil von 42000 EGW auf 10000 EGW reduziert werden. (Reinholdungsverband Leoben, undatierte Broschüre b)

Zu den oben genannten Abwässern übernimmt die Kläranlage Leoben auch Schlämme aus St. Lorenzen, Aflenz und Mautern, Schlämme von Kleinstkläranlagen aus dem Großraum Leoben sowie Maische, Molkereiabfallprodukte (Kasein) und Lederabfallprodukte (Lederspäne und Flotat).

2.1 Kanalisation

Im Allgemeinen werden Abwässer über das historisch gewachsene Kanalnetz in die Kläranlage Leoben eingespeist. Aus den ältesten Planunterlagen des Leobner Baucharchivs ist zu entnehmen, dass erste Kanäle zur Abwasserbeseitigung der Innenstadt bereits im Jahr 1880 errichtet worden sind. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde mit zunehmender Wohnverbauung das öffentliche Kanalnetz in den noch getrennten Gemeinden Leoben, Göss und Donawitz schrittweise aufgebaut. Diese Kanäle dienten ausschließlich der Abwasserableitung auf kürzesten Weg in den nächstgelegenen Vorfluter, insbesondere in die Mur, die somit in zunehmender Maße durch Schad- und Nährstoffe belastet wurde. Außerdem wurden die Kanäle von diesen drei Gemeinden ohne Berücksichtigung des Gesamttraumes errichtet. (Reinholdungsverband Leoben, undatierte Broschüre b)

Durch die Zusammenführung der Gemeinden wurde ein koordiniertes Vorgehen in der Abwasserentsorgung notwendig. 1962 wurde ein Auftrag für die Erstellung eines Abwasserentsorgungsprojektes erteilt, der die Errichtung einer vollbiologischen Kläranlage und den Ausbau von drei Abwasserhauptsammlern zur Folge hatte. Die Hauptsammler sollten die einzelnen Stadtteile miteinander verbinden und die Einleitung der Abwässer der bestehenden Kanäle in die Mur auffangen und zur

Kläranlage weiterleiten. Durch den Ausbau der Hauptsammler wurde auch die Nachbargemeinde St. Peter-Freienstein an das Leobner Kanalnetz angeschlossen. (Reinholdungsverband Leoben, undatierte Broschüre b)

Die Übernahme des Abwassers aus St. Peter-Freienstein erfolgt an der Gemeindegrenze in Donawitz. (Reinholdungsverband Leoben, undatierte Broschüre a)

Das Kanalnetz wurde bis 2003 soweit ausgebaut, dass ein Anschlussgrad von über 99 % der Wohn- und Betriebsobjekte erreicht werden konnte. Betrieben wird das Kanalnetz überwiegend im Mischsystem und umfasst ca. 121 km Kanäle, 4054 Kontrollschächte, 15 Pumpstationen und 36 Regenüberlaufbauwerke. (Reinholdungsverband Leoben, undatierte Broschüre b)

Die Entwässerung mittels Mischsystem bedeutet, dass Schmutz- und Regenwasser in einer gemeinsamen Kanalleitung abfließen. Dies bedingt die Errichtung von Regenüberläufen an geeigneten Stellen entlang der Vorfluter. Bei starken Niederschlägen wird verdünntes Mischwasser in den jeweiligen Vorfluter geleitet (Reinholdungsverband Leoben, undatierte Broschüre a).

2.2 Aufbau und Funktionsweise der Kläranlage

Das im Hauptsammler ankommende, sowie das von Tankwagen angelieferte Abwasser, wird in der ersten Stufe der Kläranlage einer mechanischen Reinigung unterzogen. In der Rechenhalle wird das eintretende Abwasser in zwei durch automatische Schützen absperrbare Straßen aufgeteilt. In diesen Straßen sind jeweils ein Grob- sowie ein Feinrechen zur Abscheidung von Grobstoffen hintereinander angeordnet.

Das Rechengut wird über Förderbänder einer Rechengutpresse zugeführt um das überschüssige Wasser auszupressen. Das vorentwässerte Rechengut wird gesondert aufbewahrt, gesammelt und anschließend deponiert (s. Abb. 4). Die darauf folgende Sandfanganlage besteht aus vier Sandfangrinnen, in denen Sand und Kies sedimentiert. Ein Sandfangräumer transportiert diese Stoffe zu Auffangtrichtern. Aus den Auffangtrichtern wird das Kies-Sand-Schlamm-Gemisch mittels Druckluftheber

hochgehoben und der Sandwaschanlage zugeführt. Der Sandwäscher besitzt einen Überlauf, der mit dem Absetzbecken verbunden ist. Nach dem Sandfang ist ein Fettfang angeordnet. (Reinholdungsverband Leoben, undatierte Broschüre b).

Das vorgereinigte Abwasser wird in zwei nebeneinander angeordneten Absetzbecken geleitet. In den Absetzbecken wird die Fließgeschwindigkeit soweit herabgesetzt, dass sich die mitgeführten Schwimm- und Sinkstoffe abscheiden. Die abgesunkenen Stoffe werden durch Längsräume Richtung Zulaufseite transportiert und von dort in den Voreindicker gepumpt. (Stadtgemeinde Leoben, undatierte Broschüre)

Dieser Schlamm wird als Primärschlamm bezeichnet. Die angelieferten unausgefaulten Schlämme aus Aflenz, St. Lorenzen, Mautern sowie die jeweiligen Abfallprodukte werden in einen Voreindicker eingeleitet (s. Abb. 4). Das überschüssige Wasser wird vom Voreindicker in das Absetzbecken rückgeführt (s. Abb. 4). Der eingedickte Schlamm wird danach in die Faulanlage gepumpt. Der Schlamm der Vorreinigungsanlage Göss wird direkt in den Faulturm eingebracht (s. Abb. 4).

Parallel zum Absetzbecken ist ein Trübwasserbecken eingeschaltet (s. Abb. 4). In das Trübwasserbecken, welches als Puffer dient, wird das im Nacheindicker und das im Zuge des Auspressens des Klärschlammes (Bandpresse) entstehende überschüssige Wasser eingeleitet. Dieses Wasser ist vor allem an Phosphat und Ammonium hochgradig belastet und wird in den Abendstunden in die biologische Einheit der Kläranlage eingespeist.

Die Faulanlage besteht aus zwei beheizten zylindrischen Faultürmen (Faulturm I und II). In diesen Faultürmen erfolgt die anaerobe Faulung der Schlämme mittels Mikroorganismen. Durch diesen Vorgang wird energiereiches Biogas erzeugt. Das entstehende Biogas wird durch Gasmotore genutzt, die wiederum Generatoren zur Stromerzeugung antreiben. Die entstehende Abwärme dient zur Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur von 35° C in den beiden Faultürmen und wird auch zur Heizung der Anlage genutzt. (Reinholdungsverband Leoben, undatierte Broschüre b)

Die Wachstumsraten der Methanbakterien sind sehr gering, sodass die Behandlungszeit des angefallenen Primärschlammes wesentlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als der biologische Abbau in den Belebtschlammbecken der biologischen Einheit der Kläranlage. Der Schlamm befindet sich drei bis vier Wochen im Faulturm. (Stadtgemeinde Leoben, undatierte Broschüre)

Der ausgefaulte Schlamm wird zuerst in den Nacheindicker und von dort in Richtung Presse gepumpt (s. Abb. 4). Nach Zugabe eines Flockungsmittels wird der Schlamm mittels einer Bandpressanlage zum Schlammkuchen verpresst. Dieser ausgepresste Schlamm wird in der Rottenhalle mit Strukturmaterial vermischt und zu Kompost verarbeitet.

Das mechanisch und durch die Absetzbecken gereinigte Abwasser enthält gelöste Stoffe sowie Schwebstoffe, die in der durch die Konzeption der Absetzbecken vorgegebenen Absetzzeit nicht sedimentieren. Dieses Abwasser wird der biologischen Einheit der Kläranlage zugeführt. Zuerst wird das Abwasser in Belebungsbecken eingebracht. In diesen wird unter Zufuhr von Druckluft der Stickstoff durch Mikroorganismen abgebaut. Der dadurch entstehende Schlamm wird als Belebtschlamm bezeichnet.

Im Wesentlichen wird der Abbau organischer Bestandteile (Schmutzstoffe) und der Abbau von Stickstoff und Phosphor (Nährstoffe, führt u. a. zu vermehrtem Algenwachstum in den Vorflutern) unterschieden. Der Abbau der organischen Bestandteile sowie der Stickstoffabbau erfolgen rein biologisch. Der Phosphatabbau wird durch Zugabe von Al-Produkten, welche eine chemische Fällung hervorrufen, unterstützt.

In den nachgeschalteten Nachklärbecken (s. Abb. 4) wird der Belebtschlamm durch Sedimentation vom Klärwasser getrennt und in die Belebungsbecken zurückgefördert. (Reinholdungsverband Leoben, undatierte Broschüre b)

Der absedimentierte Schlamm kann auch über eine maschinelle Überschussschlammabwasserung (s. Abb. 4) unter Zugabe eines Flockungsmittels in einen der beiden Faultürme gepumpt werden.

Das biologisch gereinigte Klärwasser wird über Ablaufrohre aus den Nachklärbecken entfernt, auf maßgebliche Parameter untersucht und dem Vorfluter (Mur) zugeleitet (s. Abb. 4).

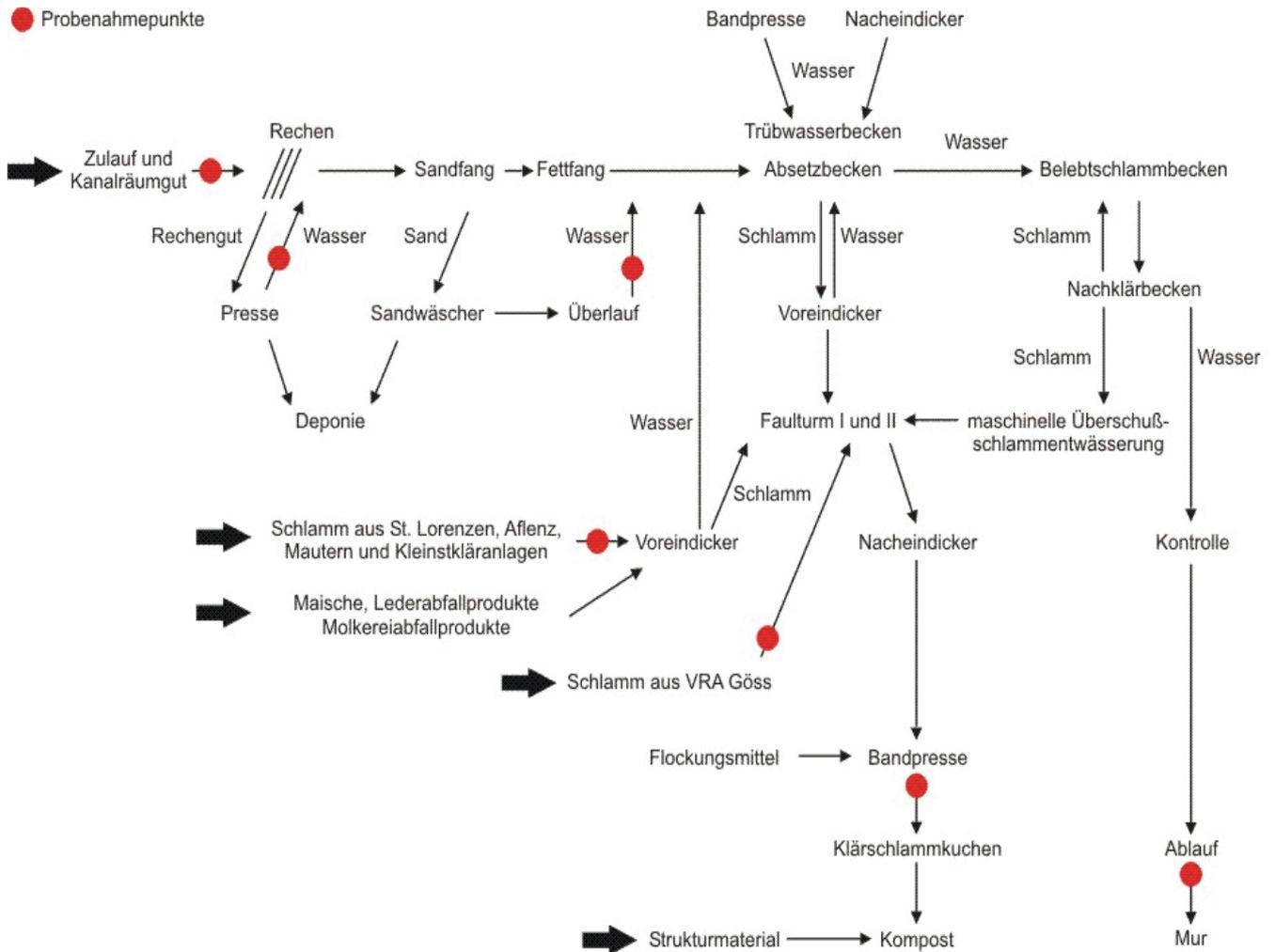


Abb. 4: Schematische Darstellung der Kläranlage mit den Probenahmepunkten (vgl. Tab. 1, Montanuniversität Leoben)

2.3 Gesetzliche Richtlinien zur Kompostierung

Für die Bewertung des Klärschlammes zur Weiterverarbeitung zu Klärschlamm- bzw. Qualitätsklärschlammkompost ist das BGBl II Nr. 292. Verordnung (Kompostverordnung) Jahrgang 2001 maßgebend. Die Eignung der Ausgangsmaterialien muss im Allgemeinen über den Herkunftsnachweis, der Kenntnis des Entstehungsprozesses oder analytischer Kontrollen gesichert sein. Als Ausgangsmaterialgruppen eignen sich kommunale Klärschlämme, gering belastete Schlämme aus der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie (Molkereiabfälle, Schlamm aus VRA Göss), organische Rückstände aus der gewerbliche, landwirtschaftlichen und industriellen Verarbeitung und dem Vertrieb von land- und forstwirtschaftlichen Produkten (Lederabfallprodukte), sonstige biogene Materialien und auch Gärrückstände aus anaeroben Behandlungsanlagen sowie all jene Ausgangsmaterialien, die sich für die Herstellung von Kompost bzw. Qualitätskompost eignen.

Generell müssen die in den Tab. 2 und 3 angeführten Parameter pro angefangene 200 t Trockenmasse Klärschlamm einmal, mindestens jedoch, bei unterschreiten der 200 t Grenze, alle drei Jahre auf ihren Schwermetallgehalt untersucht werden. In der Leobner Kläranlage fallen pro Jahr 5000 t Klärschlamm im feuchten Zustand an. Wobei in Leoben nach Obernberger & Supancic (2007) 13 – 14 kg Trockensubstanz Klärschlamm pro Einwohner und Jahr anfallen. Dies ist der fünfthöchste Wert von 17 angeführten kommunalen Kläranlagen.

Parameter	Grenzwert [mg/kg TM]
Zink (Zn)	2000
Kupfer (Cu)	500
Chrom (Cr)	300
Nickel (Ni)	100
Blei (Pb)	200
Cadmium (Cd)	3
Quecksilber (Hg)	5

Tab. 2: Grenzwerte (TM = Trockenmasse) für Schlamm als Ausgangsmaterial für Kompost (BGBl II Nr. 292 Teil II)

Parameter	Grenzwert [mg/kg TM]
Zink (Zn)	1200
Kupfer (Cu)	300
Chrom (Cr)	70
Nickel (Ni)	60
Blei (Pb)	100
Cadmium (Cd)	2
Quecksilber (Hg)	2

Tab. 3: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost (BGBl II Nr. 292 Teil II)

3 Einzugsgebiet der Kläranlage

Bei der Untersuchung des Schwermetalleintrags aus dem Einzugsgebiet in die Kläranlage sind die Transportvorgänge zu berücksichtigen. Während Haushaltsabwässer und Abwässer aus Gewerbe und Industrie großteils unmittelbar in die Kanalisation eingeleitet werden und weitgehend ohne größere Verluste zur Kläranlage gelangen, ist der Transport von Oberflächenabwässer in der Regel mit dem Abfluss von Niederschlagswasser zur Kläranlage verbunden.

(Reinhofer et. al., 2007)

Der größte Teil des Kanalnetzes der Stadtgemeinde Leoben ist als Mischkanal ausgeführt. Eine Auftrennung in getrennte Kanäle für Schmutz- und Niederschlagswasser, wobei Niederschlagswasser unmittelbar in einen Vorfluter eingeleitet wird, existiert in einigen Randbereichen des Stadtgebiets, wo Kanalanlagen relativ neu sind (Reinhofer et. al., 2007). Das Vorhandensein eines entsprechenden Vorfluters zur Aufnahme der Niederschlagswässer wird dabei vorausgesetzt. In der Innenstadt ist hauptsächlich aufgrund des historisch gewachsenen Altstadtkerns die Mischkanalisation vorhanden.

Im Zuge von Straßenerneuerungen wurde versucht, bestehende Mischwasserkanäle durch zwei getrennte Kanalleitungen zu ersetzen, wovon der eine als reiner Schmutzwasserkanal nur Abwasser und der zweite als Regenwasserkanal Niederschlagswasser ableitet. Diese Auftrennung erfolgte allerdings nicht vollständig, da Ableitungen von Innenhöfen oder straßenabgewandte Dachentwässerungen nicht in jedem Fall aus der bestehenden häuslichen Mischwasserkanalisation ausgegliedert werden können. In Gebieten mit Mischwasserkanalisation sind nicht in jedem Fall alle befestigten Flächen an den Mischwasserkanal angeschlossen. Es gibt zum einen Bereiche, von denen Oberflächenwasser unmittelbar zu einem Vorfluter abfließt und zum anderen Bereiche die über eine gesonderte Regenwasserkanalisation verfügen. Dies gilt insbesondere für das Straßennetz. Das Kanalnetz verfügt über 36 Regenüberläufe, über die ein Teil des bei Regenereignissen in den Mischwasserkanälen abfließenden Wassers unmittelbar in die Mur abgeleitet wird. (Reinhofer et. al., 2007)

4 Eintragsquellen von Schwermetallen

4.1 Einleitung

Prinzipiell können Einträge aus Haushalten, Gewerbe und Industrie sowie Oberflächenabschwemmungen (Industriestaub, korrodierende Dächer, Verkehr) voneinander unterschieden werden. Die Daten der Tabelle 4 beziehen sich auf eine Reihe von Untersuchungen unterschiedlicher Regionen. Im Wesentlichen werden in diesen Untersuchungen Industrie und Gewerbe, Haushalte und Oberflächenabschwemmungen als maßgebliche Quellen der Einträge ausgewiesen. (Zessner, 1999)

Region	Herkunft	Cd [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
New York, 1974	HA	49	28	67	25		49
	OF	12	9	14	10		31
	I+G	39	52	19	65		20
München, 1981	HA	10-25	20-30	35-45	15-20	15-30	50-65
	OF	35-70	40-50	50-60	10-20	65-80	30-50
	I+G	20-40	25-35	5-10	60-70	<5	<5
Schweiz, 1981	HA	35		20	15	10	65
	OF	55		15	50	85	5
	I+G	10		65	35	5	30
Darmstadt, 1984	HA	20	10	40		15	55
	OF	30	15	30		55	35
	I+G	50	65	30		30	10
Hessen, 1986	HA	10		20		15	
	OF	15		20		40	
	I+G	75		60		45	
San Francisco Bay, 1994	HA+OF	90	85	85	75	80	99
	I+G	10	15	15	25	20	1
NÖ, 1995	HA	20		40		10	20
	OF	5		35		40	70
	I+G	75		25		50	10
St. Gallen, 1997	HA	10		25		15	30
	OF	70		60		75	40
	I+G	20		20		10	30
Mittelwert (ohne USA)	HA	20	20	30	15	15	45
	OF	40	30	35	35	60	40
	I+G	40	50	35	50	25	15
Schwankungsbreite (ohne USA)	HA	10-35	10-30	20-45	15-20	10-30	20-65
	OF	5-70	15-50	15-60	10-50	40-85	5-70
	I+G	10-75	25-70	5-65	35-70	<5-50	<5-30

HA... häusliches Abwasser

OF... Oberflächenabfluss

I+G.. Industrie und Gewerbe

Tab. 4: Herkunft von Schwermetallen in % des Gesamteintrages in das Abwasser (Zessner, 1999)

Deutlich zu sehen ist, dass die Angaben über den Beitrag von Industrie und Gewerbe in einem weiten Bereich schwanken. Im Mittel der Angaben liegt der Beitrag von Industrie und Gewerbe für einzelne Metalle bei max. 50 % (s. Tab. 4).

Da es sich bei diesen Untersuchungen teilweise um ältere Arbeiten handelt, ist anzunehmen, dass der derzeitige Beitrag von Industrie und Gewerbe an den Schwermetallemissionen durch Indirektleiterkontrolle sowie Betriebsumstellungen signifikant (deutlich unter 50 %) geringer ist (Zessner, 1999). Eine Verallgemeinerung ist hier jedoch keinesfalls möglich, da der Beitrag von Industrie und Gewerbe entscheidend von der lokalen Situation abhängt.

Anhand Tab. 4 ist ersichtlich, dass auch den Oberflächenabschwemmungen und Haushaltseinträgen eine große Bedeutung zukommt.

4.2 Haushalts- und Oberflächenabwässer

Im folgenden wurden Schwermetallfrachten, die aus Oberflächen (Verkehr, Dachflächen, Staub) und Haushalten stammen, weiter verfolgt und Einflussfaktoren, die zu regionalen Unterschieden im Schwermetalleintrag ins Abwasser führen können, diskutiert.

Betrachtet man die Werte der Tabelle 5, so sieht man, dass Angaben über Schwermetallgehalte in Ausscheidungen und Speisereste die geringsten Schwankungsbreiten aufweisen. Die Schwankungen in den Angaben für die Frachten im Leitungswasser sind durch die unterschiedlichen Ausgangskonzentrationen im verwendeten Trinkwasser erklärbar (s. Tab. 5). Zudem können Schwermetalle durch die Korrosion der verwendeten Leitungsrohre (Cu, Pb) in erheblichen Maß in das Leitungswasser gelangen. Für die Korrosion sind lokale Faktoren von Bedeutung (pH-Wert, Wasserhärte, verwendete Materialien, Alter der Verrohrungen etc.). (Zessner, 1999)

Herkunft	Cd [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
Ausscheidungen und Speisereste	25-33	1-2	22-31	13-15	3-6	27-38
Leitungswasser	19-27	3	19-58	1	15-29	13-27
Reinigungswasser	40-56	95-96	15-59	84-88	66-82	47-50

Tab. 5: Herkunft von Schwermetallen in % des Gesamteintrages der Haushaltsabwässer (Zessner, 1999)

Den überwiegenden Anteil der Schwermetalle beinhaltet das Reinigungswasser (s. Tab. 5).

Als Oberflächenabwässer werden in dieser Arbeit hauptsächlich kontaminierte Abwässer aus dem Verkehr angesehen. Zusätzlich zu diesen können noch Oberflächenabschwemmungen von korrodierenden Dachflächen (Dachflächen aus Metall) sowie Oberflächenabschwemmung die hauptsächlich den deponierten Staub beinhalten angesprochen werden. Die Emissionen aus dem Verkehr und des deponierten Staubs können aber nicht mit den Einträgen in das Abwasser gleichgesetzt werden, da ein Teil auch über die Luft vertragen wird (lokal bedeutende Unterschiede). (Zessner, 1999)

In der Tabelle 6 wurden Werte aus Zessner (1999) zusammengefasst. Als Quellen der Schwermetallemissionen des Verkehrs sind der Reifenabrieb (Zn, Cd), Abrieb von Bremsbelegen (Cu) und Straßenbelag (Ni) und Abgase (Pb) zu beachten.

Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
[mg/1000km]	[mg/1000km]	[mg/1000km]	[mg/1000km]	[mg/1000km]	[mg/1000km]
0,24-5	3-100	40-400	250	110-400	200-2000

Tab. 6: Schwermetalleintrag aus Verkehrsemissionen durch PKW (Zessner, 1999)

Allerdings stellen diese Angaben nicht die alleinigen Quellen der Schwermetalle im Bereich Verkehr dar. Aufgrund von Unfällen, Tropfverlusten (Schmierstoffe, Kraftstoff etc.), Reinigen (Scheibenwaschanlage), der Unterhaltung der Verkehrsflächen (Winterdienst, Reinigung), des Straßenabriebes (inkl. Markierungen) und der Staubdeposition auf Fahrbahnflächen (Industrie, Gewerbe, Hausbrand etc.) kommt es zusätzlich zu einem Schadstoffeintrag, der dann entweder in den Kanal oder in ein Gewässer (z.B. Mur, Vordernberger Bach) mündet, oder am Straßenrand versickert (Kontaminierung der Grün- und Ackerflächen).

Die Abwässer von Fahrbahnen haben insbesondere beim ersten Spülstoß hohe Konzentrationen an Schadstoffen, wobei hauptsächlich die hohen Gehalte an ungelösten Stoffen, organischen Summenparametern und zum Teil der Mineralölgehalt auffällt. Ihre Zusammensetzung ändert sich jedoch bei Straßenabschnitten mit unterschiedlichem Straßenbelag, unterschiedlicher Neigung und auf Parkplätzen oder Mautstellen. Aufgrund unterschiedlicher Erhaltungsmaßnahmen (z. B.: Winterdienst) ist auch die Jahreszeit von großer Bedeutung. (Fritzer, 1992)

	Pb [µg/g]	Zn [µg/g]	Cr [µg/g]	Cu [µg/g]	Ni [µg/g]
Benzin	663	10	15	4	10
Diesel	12	12	15	8	8
Motorenöl	9	1060	0	3	17
Getriebeöl	8	244	0	0	21
Frostschutzmittel	6	14	0	76	16
Bremsflüssigkeit	7	15	19	5	31
Unterbodenschutz	116	108	0	0	476
Schmierfett	0	164	0	0	0
Gummi	1110	617	182	247	174
Bremsbeläge	1050	124	2200	30600	7454

Tab. 7: Qualitative Beschaffenheit verkehrsbedingter Stoffe, die zur Verunreinigung an Straßen beitragen (Fritzer, 1992)

Nach Prinz & Unger (1992) handelt es sich beim Abrieb der Straßenbeläge um mineralischen Staub, Beton- oder Bitumenabrieb. Durch den rollenden Verkehr werden von den Fahrbahnbelägen rund 0,3 – 1 mm/a abgerieben. Bei Verwendung von Spikes wird der doppelte bis sechsfache Abrieb angenommen. Der jährliche Abrieb (ohne Spikes) beträgt 1,3 bis 3 kg/m² Fahrbahn. Durch Abrieb von teerhaltigen oder bituminösen Straßenbelägen werden Partikel freigesetzt, die zum Teil polyaromatische KW enthalten.

Weiters sind die Emissionen durch den Straßenabrieb von der Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn abhängig. Beton kann Blei- und Zinkgehalte von 400 bis 500 mg/kg aufweisen; Asphalt kann Nickelgehalte >1000 mg/kg und Chromkonzentrationen >300 mg/kg enthalten. Straßenabrieb von teerasphalhaltigen Belägen führt zur Emission von ein- und mehrkernigen aromatischen Kohlenwasserstoffen, besonders Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.

Steinkohleteer wird seit etwa 80 Jahren im Straßenbau verwendet. (Prinz & Unger, 1992)

Der Reifenabrieb ist abhängig von der Zusammensetzung der Reifen und dadurch von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich. Dazu gehören:

- Kautschuk über 40 % (Natur- und Synthetikgummi)
- Füllstoffe rund 30 % (Ruß, Silica, Kohlenstoff)
- Festigkeitsträger (Stahl, Nylon, etc.)
- Weichmacher (Öle und Harze)
- Chemikalien für Vulkanisation (Schwefel, Zinkoxid, Sonstige)
- Alterungsschutzmittel (Chemikalien etc.)

(a)	Kohlenwasserstoffpolymere	47,0	[Gew. %]
	Ruß*	21,5	[Gew. %]
	Stahl	16,5	[Gew. %]
	Gewebe	5,5	[Gew. %]
	Zinkoxid	1,0	[Gew. %]
	Schwefel	1,0	[Gew. %]
	Sonstige	7,5	[Gew. %]

*ein Teil des Rußes kann durch Siliziumoxid ersetzt sein

(b)	Kohlenstoff	ca.	70 %
	Eisen	16 %	
	Wasserstoff	7 %	
	Sauerstoff	4 %	
	Zinkoxid	1 %	
	Schwefel	1 %	
	Stickstoff	0,5 %	
	Stearinsäure	0,3 %	
	Halogene	0,1 %	
	Kupferverbindungen	200 mg/kg	
	Cadmium	10 mg/kg	
	Chrom	90 mg/kg	
	Nickel	80 mg/kg	
	Blei	50 mg/kg	

Tab. 8: Stoffliche (a) und chemische (b) Zusammensetzung von Altreifen, [www.umweltschutz.ch, Zugriff Juli 2006]

Heizwert	35,1	[MJ/kg TS]
Wassergehalt	1,2	[Massen%]
Glühverlust	92,4	[Massen%]
Antimon (Sb)	2,9	[mg/kg TS]
Arsen (As)	1,3	[mg/kg TS]
Beryllium (Be)	0,2	[mg/kg TS]
Blei (Pb)	24	[mg/kg TS]
Cadmium (Cd)	2,8	[mg/kg TS]
Chrom, gesamt (Cr. ges.)	66	[mg/kg TS]
Kupfer (Cu)	8,2	[mg/kg TS]
Nickel (Ni)	73	[mg/kg TS]
Quecksilber (Hg)	0,92	[mg/kg TS]
Thallium (Tl)	1,9	[mg/kg TS]
Vanadium (V)	2,7	[mg/kg TS]
Zink (Zn)	12350	[mg/kg TS]
Zinn (Sn)	3,9	[mg/kg TS]

Tab. 9: Chemische Zusammensetzung von Altreifen (Gummianteil wurde untersucht), ZUSER GmbH Umweltservice (2005)

Auch wenn die exakten Rezepte der Mischungen geheim bleiben, so sind die wichtigsten Zutaten der Reifenhersteller wie Kautschuk, Vulkanisationsmittel und Ruß doch bekannt. Letzterer dient vor allem der Verschleißfestigkeit und gibt dem Reifen seine schwarze Farbe. Der Rußanteil wird bei modernen Reifen allerdings partiell durch Silica (Kieselsäure) ersetzt - an der Farbe änderte dies jedoch nichts.

Zugemischter Schwefel und organische Verbindungen beschleunigen die Vulkanisation, die in speziellen Öfen bei rund 170 bis 190 Grad Celsius in etwa 10 bis 15 Minuten abläuft. Bei der Vulkanisation werden die Kautschukteile vernetzt, und der Reifen bekommt seine endgültige Form - einschließlich Profil und Beschriftung. [[www.soberg.de /index.html](http://www.soberg.de/index.html), Zugriff Juli 2006]

Rund 90 % des Reifenabriebs liegt in Form von schwer abbaubaren organischen Stoffen (Kautschuk) sowie von Schwefel und Schwermetalloxyden (Pb, Cr, Cu, Ni und Zn) vor. Zink wirkt zwar weniger toxisch als Blei, jedoch ist der Zinkstaub von Straßen wesentlich wasserlöslicher als der entstandene Bleistaub. Die Menge an Reifenabrieb beträgt bei einem durchschnittlichen täglichen Verkehr von 1000 Kfz je km Straßenlänge 0,12 kg/d. (Cadle & Williams, 1980)

Die Menge an Reifenabrieb, die während des Reifenlebens, d. h. im Laufe einer durchschnittlichen Fahrleistung von 50 000 km oder in vier Jahren, anfällt, beträgt ca. 1 kg pro Reifen, das entspricht ca. 20 mg Abrieb pro Reifen und gefahrenem

Kilometer. Der Reifenabrieb setzt sich zu ca. 42 % aus Kautschuk und zu ca. 34 % aus Ruß und ca. 17 % aus Mineralölen zusammen. [www.conti-online.com/generator/www/com /de/continental/csr/themen/, Zugriff Juli 2006]

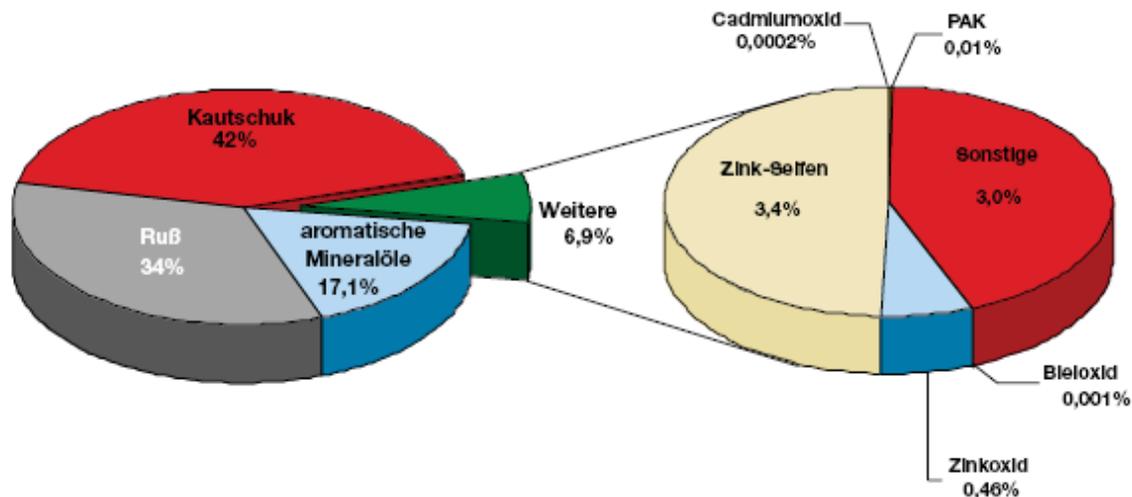


Abb. 5: Reifenabrieb, die als „Sonstige“ bezeichneten Inhaltsstoffe sind: Schwefel, Wachs, Phenylendiamine, Cyclohexylthiophthalimid, Sulfonamide, Anilin, Benzthiazol, Mercaptobenzthiazol und Mercaptobenzthiazoldisulfid. [www.conti-online.com/generator/www/com /de/continental/csr/themen/, Zugriff Juli 2006]

Die weiteren ca. 7 % sind unterschiedliche Inhaltsstoffe der Lauffläche sowie Substanzen, die durch chemische Umsetzungen der Inhaltsstoffe während der Vulkanisation der Reifen-Gummimischungen entstehen. Der Reifenabrieb verteilt sich zunächst vorübergehend auf der Straßenoberfläche und im Boden beiderseits der Straßen. [www.conti-online.com/generator/www/com/de/continental/csr/themen/, Zugriff Juli 2006]

Der Abrieb unterliegt folgenden Prozessen wie in etwa Wegschwemmen von der Straßenoberfläche durch Niederschlagswasser oder Eluieren wasserlöslicher Stoffe des Abriebs und Chemischer und biologischer Abbau.

Bei der Betrachtung eines einzelnen Reifens verteilt sich die Abriebmenge von 1 kg während eines Zeitraums von 4 Jahren über eine Fahrstrecke von 50 000 km gleichmäßig im Boden rechts und links der Straße. Bei einer biologisch-chemischen Abbaurate von 0,7 % pro Tag ergibt sich ein fast vollständiger Abbau des Abriebs in

zwei Jahren nach Beendigung der Nutzung des Reifens. (Cadle & Williams, 1980) und [www.conti-online.com/generator/www/com/de/continental/csr/themen/, Zugriff Juli 2006]

Neben einer Reihe schwer abbaubarer organischer Stoffe sind besonders Zink (Gehalt maximal 3 %) und Cadmium umweltrelevant. Durch den Abrieb von Bremsbelägen werden die Schwermetalle Nickel, Chrom und besonders Kupfer emittiert. Nach Schätzungen fällt etwa 0,8 kg Bremsbelagabrieb je Straßenkilometer und 50 000 Kfz an. (Prinz & Unger, 1992)

Bei Tropfverlusten von Kfz-spezifischen Flüssigkeiten handelt es sich um organische Stoffe wie Treibstoffe, Motor- und Getriebeöle, Schmierfette, Bremsflüssigkeiten und Frostschutzmittel. Neben den dadurch bedingten hohen CSB-Werten (chemischer Sauerstoffbedarf) sind in den Tropfverlusten auch große Mengen an Schwermetallen enthalten. Ölen werden als Additive Zinkverbindungen zugefügt.

Nach Fritzer (1992) kommt es insbesondere auf Parkplätzen und Mautstellen von Hochleistungsstraßen zu hohen Tropfverlusten.

Die Emission aus der Kraftstoffverbrennung erfolgt über den Auspuff in Form von Gasen und Aerosolen, zum Teil aber auch als partikuläre Rußanteile. Für die Gewässerbelastung sind folgende Schadstoffe wesentlich: Unverbrannte Kohlenwasserstoffe, gasförmige Stickoxide, Ruß- und Teerprodukte.

Der Abrieb von Bremsbelägen, Kupplungsbelägen und Scheiben besteht aus anorganischen Substanzen mit hohen Mengen an Nickel, Chrom, Blei und insbesondere Kupfer (Fritzer, 1992).

Der Winterdienst bringt zusätzliche Verunreinigungen in Form von Tausalzen und Streusplitt.

Wesentliche Beurteilungskriterien für die Schadstoffbelastung durch den Verkehr sind nach Fritzer (1992) die

- Verkehrsbelastung
- Fläche der Entwässerung
- Art des Fahrbahnbelages
- Gefälle der Fahrbahn
- Rauigkeit der Fahrbahn
- Zeit seit dem letzten Niederschlagsereignisse, Akkumulation von Schmutz
- Stärke und Länge des Niederschlagsereignisses
- Stärke der Windwirkung
- Fließgeschwindigkeit und –dauer des Fahrbahnwassers auf der Fahrbahn.

Zu beachten ist auch der Anteil des Verkehrs an der PM₁₀-Luftbelastung. Mit Feinstaub (PM₁₀) bezeichnet man Partikel mit einem Durchmesser kleiner 10 µm. Partikel dieser Größe können über den Kehlkopf bis tief in die Lunge gelangen.

Zahlreiche Studien haben einen Zusammenhang zwischen der Belastung durch Feinstaub und gesundheitlichen Auswirkungen gezeigt. Diese Auswirkungen reichen von (vorübergehenden) Beeinträchtigungen der Lungenfunktion bis zu zuordenbaren Todesfällen, vor allem aufgrund von Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Nach einer aktuellen Einschätzung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) gehört die Außenluftbelastung zu jenen Umwelteinflüssen, die die größten gesundheitlichen Auswirkungen in westlichen Industrieländern verursachen. [www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/luftschaedstoffe/staub/pm10/, Zugriff Juli 2007]]

Die im Straßenverkehr erbrachte Verkehrsleistung ist seit den 80er-Jahren stark gestiegen. Bei den Emissionen der maßgeblichen Fahrzeugkategorien Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge konnte ein Zuwachs in der Verkehrsleistung um jeweils mindestens 100% (bei leichten Nutzfahrzeugen beinahe 400%) beobachtet werden. Aufgrund der Verringerung der spezifischen Emissionen der Einzelfahrzeuge durch Absenken der Emissionsgrenzwerte haben die PM₁₀-Emissionen dieser Fahrzeugkategorien im gleichen Zeitraum insgesamt nur um rund 60% zugenommen. Während die von schweren Nutzfahrzeugen emittierten Mengen

im Vergleich zu 1980 sogar abgenommen haben, ist aufgrund des starken Anstiegs der dieselbetriebenen Fahrzeuge im Pkw-Bereich eine überproportionale Zunahme der Partikelemissionen zu verzeichnen. Die Berechnung der Emissionen aus dem Straßenverkehr ist für die Abgas-Emissionen relativ gut abgesichert und Maßnahmen können auch mittels detailliert vorliegenden Emissionsfaktoren aus dem Handbuch der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs in Österreich gut abgebildet werden. Für Reifen-, Brems- und Straßenabrieb steht ein Berechnungsmodell zur Verfügung, mit dem zumindest die mittlere Geschwindigkeit abgebildet wird. Aufgrund des wahrscheinlich relativ geringen Beitrags der Abriebsemissionen zu den Gesamtemissionen dürften sie allerdings derzeit keine große Rolle spielen. Die Wiederaufwirbelungsemissionen sind mit der größten Unsicherheit behaftet und können, je nach angewendetem Berechnungsmodell, die Abgas- und Abriebsemissionen bei weitem übersteigen. Insgesamt erscheint es jedoch plausibel anzunehmen, dass die Wiederaufwirbelungsemissionen in einem ähnlichen Größenbereich wie die Abgasemissionen liegen.

[www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/, Zugriff April 2008]

Die Ursachen der Belegung der Straßenfläche durch mineralische und kohlenstoffhaltige Stäube, die durch die darüber rollenden Kraftfahrzeuge aufgewirbelt werden, sind bisher nicht ausreichend bekannt. Die Einflussfaktoren auf die Aufwirbelung müssen noch näher untersucht werden. Bisher vorliegende Untersuchungen weisen für die Aufwirbelung Abhängigkeiten vor allem von der Staubbeladung der Straße und insbesondere vom Fahrzeuggewicht aus. Nach einem Modell der US-Umweltbehörde EPA ist die Staubaufwirbelung von Lkw ca. 7mal größer als bei Pkw. Gleichzeitig steigt die Straßenabnutzung mit der 4. Potenz der Achslast, so dass der Straßenabrieb von Lkw bis zu 160 000mal höher als bei Pkw ist. Eine Verringerung des Lkw-Anteils am Verkehrsaufkommen und der Lkw-Geschwindigkeit lässt damit die größten Minderungen der Staubaufwirbelung erwarten. [www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/, Zugriff April 2008]

4.3 Bilanzierung des Einzugsgebiets

Aufgrund der hier erhobenen Daten (s. Tab. 4, 5 und 6) und den Kennwerten der untersuchten Einzugsgebiete wurden von Diebold in Reinhofer et. al. (2007) Schwermetallfrachten dem Einzugsgebiet der Leobner Kläranlage zugewiesen.

Die Bilanzierung erfolgt zunächst innerhalb der Kläranlage für die Feststofffrachten. Daraus lassen sich die Schwermetallfrachten berechnen. Als nächster Schritt wurden die aus der Kläranlagenbilanzierung gewonnenen Ergebnisse (Zuschlagstoffe wurden abgezogen) aus dem Modelljahr für den Kläranlagenzulauf mit den errechneten Zulauffrachten aus der Einzugsgebietsanalyse abgeglichen.

(Diebold in Reinhofer et. al., 2007)

Die Frachten aus Industrie (AT&S und VÖST durch Indirekteinleiterüberwachung) und Oberflächenabschwemmungen sind besser abgesichert als die Frachten aus Haushaltsabwässern. Diese wurden aus Literaturwerten berechnet, die eine große Schwankungsbreite aufweisen (s. Tab. 4). Bei der Erstellung der Gesamtbilanzen für das Einzugsgebiet wurden daher bevorzugt die Haushaltsfrachten berichtigt. Für Cadmium und Blei fehlen Daten zu Verkehrsemissionen und für die Indirekteinleiter, sodass eine Bilanzierung des Einzugsgebiets nicht sinnvoll erschien. Für Quecksilber konnte im Bereich der Klärschlammbehandlung keine sinnvolle Bilanzierung erstellt werden. (Diebold in Reinhofer et. al., 2007) In Abbildung 6 sind die Nickelströme im Einzugsgebiet dargestellt.

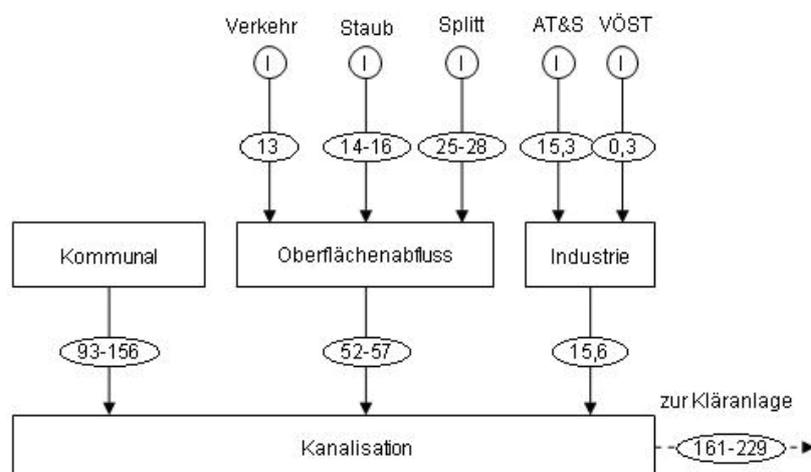


Abb. 6: Herkunft Nickel [kg/Jahr], Diebold in Reinhofer et. al. (2007)

Dabei entstammen ca. 58 bis 68 % den kommunalen Abwässern, über den Oberflächenabfluss gelangen ca. 25 bis 32 % in die Kanalisation und die restlichen 7 bis 10 % entstammen den Indirekteinleitern AT&S und VOEST. Die größte Einzelquelle von Nickel neben den Haushalten stellt dabei in diesem Modell der Streusplitt dar, sein Beitrag zur Gesamtfracht im Kläranlagenzulauf beträgt 12 bis 16 %. (Diebold in Reinhofer et. al., 2007)

Das mit dem Abwasser in die Kläranlage eingebrachte Chrom (Abb. 7) entstammt zu ca. 74 bis 80 % den kommunalen Abwässern. Ca. 20 bis 25 % werden mit dem Oberflächenabfluss zur Kläranlage transportiert, wovon der Streusplitt mit 15 bis 20 % zur gesamten Einbringung beiträgt. Lediglich 1 % stammt demnach von Indirekteinleitern. (Diebold in Reinhofer et. al., 2007)

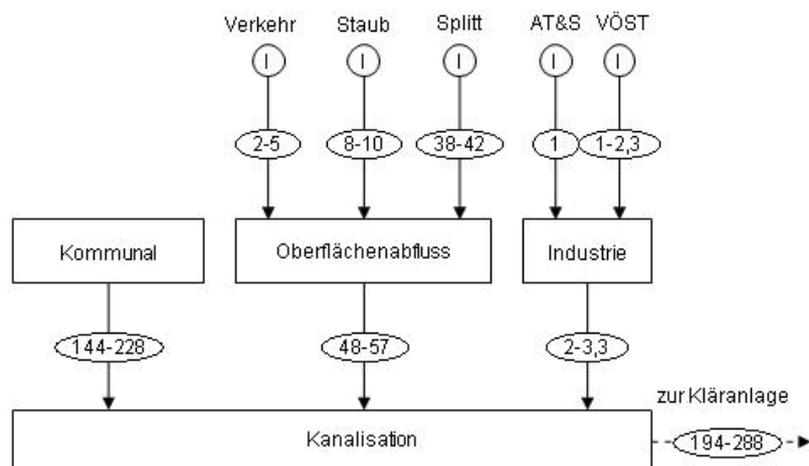


Abb. 7: Herkunft Chrom [kg/Jahr], Diebold in Reinhofer et. al. (2007)

Das aus dem Einzugsgebiet in die Kanalisation gelangende Kupfer (Abb. 8) stammt nach Diebold in Reinhofer et. al. (2007) zu 80 % aus den kommunalen Abwässern. Ca. 15% stammen vom Indirekter AT&S, weitere 5 % gelangen mit dem Oberflächenabfluss in die Kanalisation.

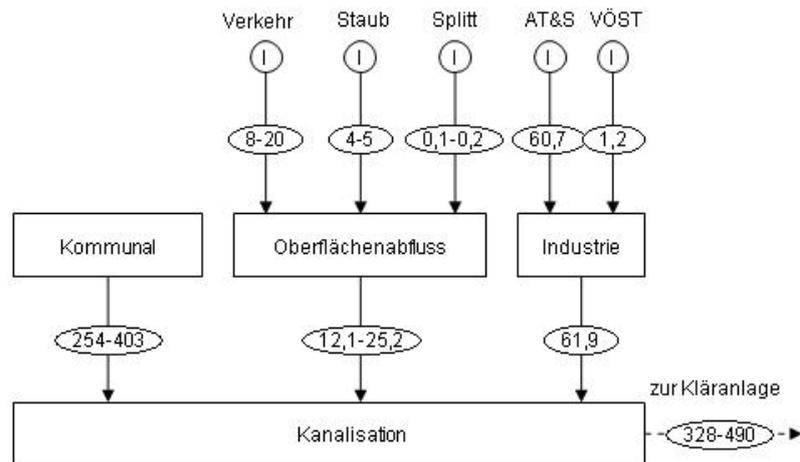


Abb. 8: Herkunft Kupfer [kg/Jahr], Diebold in Reinhofer et. al. (2007)

Der Streusplitt ist demnach nicht maßgeblich am Kupfereintrag beteiligt (s. Abb. 8).

Zink (Abb. 9) gelangt zu ca. 90 % über das kommunale Abwasser in die Kanalisation. Nur ein geringer Anteil (ca. 10 %) wird über den Oberflächenabfluss und den Indirekteinleiter VOEST (von der AT&S liegen keine Angaben über Zink vor) in das Abwasser eingetragen. (Diebold in Reinhofer et. al., 2007)

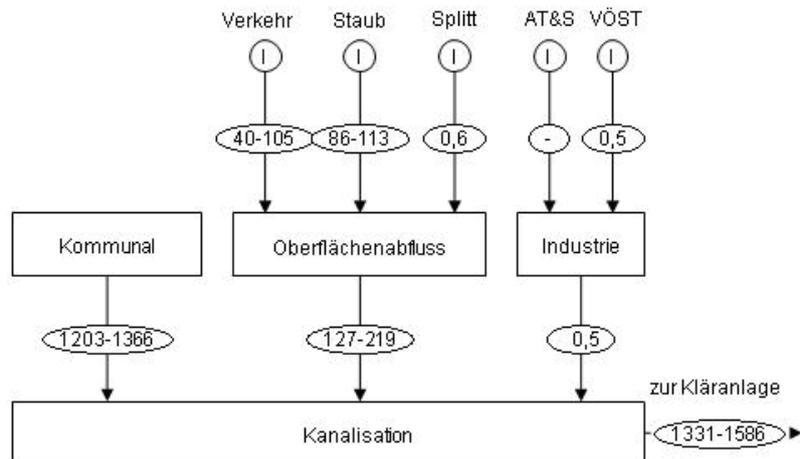


Abb. 9: Herkunft Zink [kg/Jahr], Diebold in Reinhofer et. al. (2007)

Aufgrund der Bilanzierung des Einzugsgebiets kann vor allem das kommunale Abwasser sowie der Streusplitt und Staub als maßgebliche Eintragsquellen von Chrom (s. Abb. 7) und das kommunale Abwasser, der Streusplitt und Staub und der

Indirekteinleiter AT&S als Eintragsquellen von Nickel (s. Abb. 6) genannt werden. Zink und Kupfer werden hauptsächlich über das kommunale Abwasser in die Kläranlage eingebracht.

5 Methodik

5.1 Probenahme

Beprobt wurde der Klärschlamm, der Zulauf, der Ablauf, das Sandwaschwasser und das Presswasser der Kläranlage Leoben sowie die angelieferten Fremdschlämme aus Göss, Mautern, St. Lorenzen und Aflenz (s. Abb. 4). Die Probenahme wurde vorerst auf vier Beprobungszeiträume (05/06-2005, 10/11-2005, 02/03-2006, 04/05-2006) verteilt. Aufgrund der Ergebnisse der ersten Beprobungsphase wurde dieser Plan in Bezug auf die Klärschlamm- und Ablaufbeprobung adaptiert. Zusätzlich zu diesen vier Beprobungszeiträumen wurden im März und Juni 2006 Wasserproben des Zulaufs und des Ablaufs der Kläranlage zur Filtration entnommen.

5.1.1 Klärschlämme der Kläranlage Leoben

Der gepresste und ausgefaulte Klärschlamm wurde nach der Bandpresse (Abb. 10) als Stichprobe entnommen.



Abb. 10: Bandpresse mit Probeentnahmestelle in der Kläranlage Leoben

Für den ersten Probenzeitraum im Mai bzw. Juni 2005 wurden an zwei Tagen 11 bzw. 13 Proben 500–1000 g) im Halbstunden-Rhythmus entnommen, ansonsten eine

Probe pro Tag. Da aufgrund von Energiesparmaßnahmen die Bandpresse einige Tage stillstand, ergibt sich ein ausgedehnter Probenzeitraum (Tab. 10).

Datum	Zeit	Anzahl	Probenart
30.05.2005	9:00 – 14:00	11	1/2 Std.
01.06.2005	8:00 – 14:00	13	1/2 Std.
02.06.2005	10:30	1	Stichprobe
03.06.2005	10:00	1	Stichprobe
07.06.2005	12:30	1	Stichprobe
09.06.2005	09:00	1	Stichprobe
10.06.2005	09:00	1	Stichprobe
13.06.2005	09:00	1	Stichprobe
14.06.2005	11:30	1	Stichprobe
20.06.2005	10:00	1	Stichprobe

Tab. 10: Klärschlammproben der 1. Beprobungsphase in der Kläranlage Leoben

Die Resultate der Intensivbeprobungen sind in (Abb. 11:) und die Tagesvariabilität von Nickel und Chrom sind in (Abb. 12) dargestellt. Die Beprobung erfolgte selbständig sowie durch Mitarbeiter des Reinhaltungsverband (RHV) Leoben. Die Proben wurden bei nichtselbstständiger Beprobung in Plastikbeuteln maximal zwei Tage in der Kläranlage zwischengelagert und zur weiteren Bearbeitung abgeholt. Insgesamt wurden somit 88 Klärschlammproben in der Kläranlage Leoben entnommen (Tab. 11).

1 mal wöchentlich		max. 2 mal wöchentlich	
Monat	Anzahl	Monat	Anzahl
September 05	2	März 06	9
Oktober 05	4	April 06	7
November 05	4	Mai 06	5
Dezember 05	5	Juni 06	6
Januar 06	4	Juli 06	4
Februar 06	6		

Tab. 11: Klärschlammproben ab September 2005 in der Kläranlage Leoben

Die Häufigkeitsverteilung der analysierten Elemente wird in Abb. 11 und folgenden durch den Boxplot, nach Tukey (1977) dargestellt. Die Boxen werden vom 25. und 75. Perzentil der Konzentrationen begrenzt. Die innere Linie repräsentiert den Medianwert. Ausreißer sind Werte zwischen der 1,5- bis 3-fachen Boxlänge. Weit entfernte Ausreißer sind mehr als 3 Boxlängen von der Box entfernt. Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die Untersuchungsergebnisse der Intensivbeprobungen (s. Tab. 10).

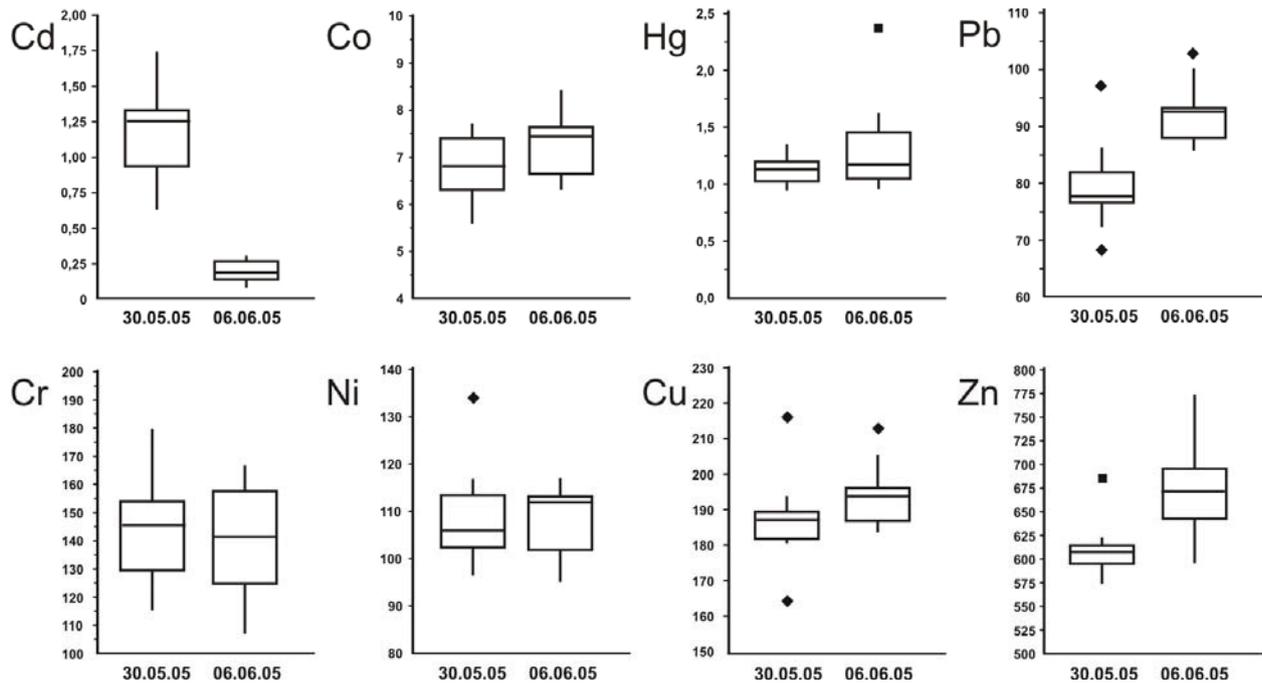


Abb. 11: Boxplots der Schwermetalle [µg/g] im Klärschlamm, Intensivbeprobung (Ausreißer ♦, weit entfernte Ausreißer ■)

Die Variabilität der Ergebnisse im Tagesverlauf ist in Abbildung 12 dargestellt. Nickel zeigt keine signifikanten Änderungen im Tagesverlauf. Höheren Schwankungsbreiten sind bei Chrom feststellbar. Die Chromkonzentration ist durchgehend höher als die Nickelkonzentration im Klärschlamm. Die Untersuchungsergebnisse zeigen keinen Trend an.

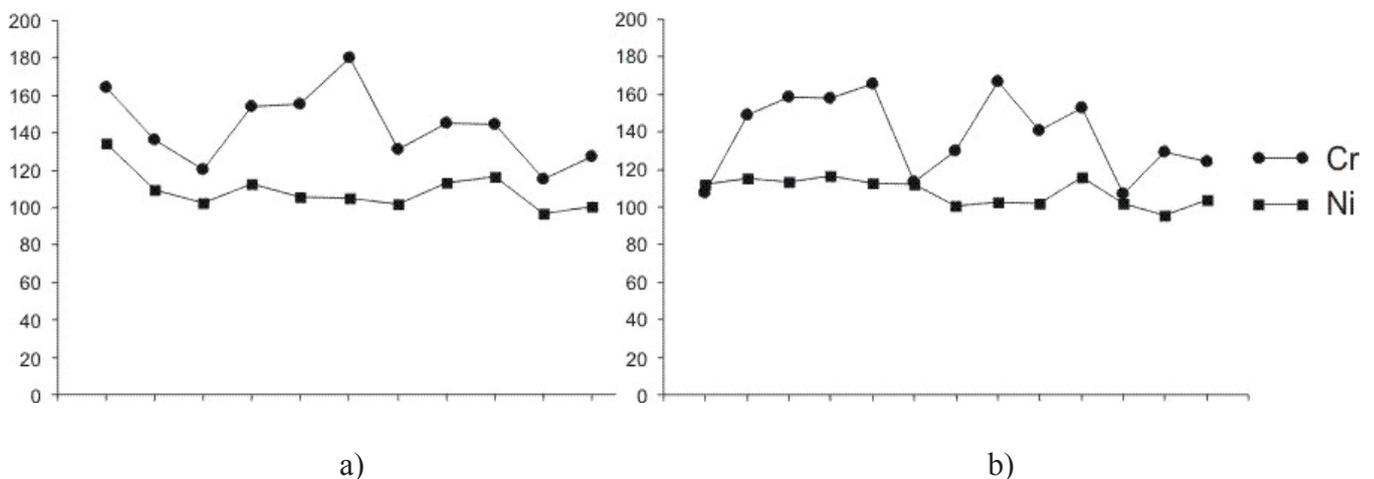


Abb. 12: Zeitreihe der Schwermetalle [µg/g] im Klärschlamm, Intensivbeprobung vom 30.05.2008 von 9:00 – 14:00 a) und vom 06.06.2008 von 08:00 – 14:00 b)

Um eine kontinuierliche Zeitreihe der Klärschlammanalysen zu erstellen, wurde ab 23. September 2005 die Beprobung auf eine bzw. zwei wöchentliche Probenahme(n) in Form von Stichproben adaptiert (Tab. 11).

5.1.2 Fremdschlamm aus Göss, Mautern, Aflenz und St. Lorenzen

Die Probenahme der Fremdschlämme (FS) erfolgte unter Mithilfe der Kläranlagenwärter des RHV-Leoben nach Anlieferung aus Aflenz (A), Göss (G), Mautern (M) und St. Lorenzen (SL). Die Proben (400 – 600 g) wurden während der Entleerung des Tankwagens gewonnen und in Plastikflaschen abgefüllt, luftdicht verschlossen, im Kühlschrank vor Ort gelagert und zur weiteren Bearbeitung abgeholt. Es wurden in Summe 68 Fremdschlammproben gezogen und analysiert (Tab. 12).

Monat	Herkunft	Anzahl	Monat	Herkunft	Anzahl
Juni 05	Göss	10	März 06	Aflenz	1
Juni 05	Aflenz	3	März 06	Mautern	2
Juni 05	Mautern	3	April 06	Göss	2
Oktober 05	Göss	6	April 06	Aflenz	1
Oktober 05	Aflenz	3	April 06	Mautern	1
Oktober 05	Mautern	3	April 06	St. Lorenzen	3
November 05	Göss	4	Mai 06	Göss	6
November 05	St. Lorenzen	3	Mai 06	Aflenz	2
Februar 06	Göss	1	Mai 06	Mautern	2
Februar 06	Aflenz	2	Juni 06	Göss	3
März 06	Göss	6	Juni 06	Mautern	1

Tab. 12: Fremdschlammproben

5.1.3 Wasserproben am Zulauf

Mittels eines bereitstehenden Probenehmers (Abb. 13 a) der Kläranlage wurden mengenproportionale Tagesmischproben entnommen (s. Tab. 14). Durch einen vorab gereinigten Schlauch wurde mittels einer Pumpe die Probe des Zulaufs angesaugt, ein Teil davon abgefüllt und ein Teil in den Zulauf rückgeführt.

Für die (nicht mengenproportionale) Intensivbeprobung (Zweistunden- bzw. Vierstunden-Mischproben, Tab.13) wurde ein Probenehmer mit Drehkreuz (Wechsel im Zwei bzw. Vierstundenrhythmus, (Abb.13 b) installiert, der alle acht Minuten 30 bis 40 ml entnahm.

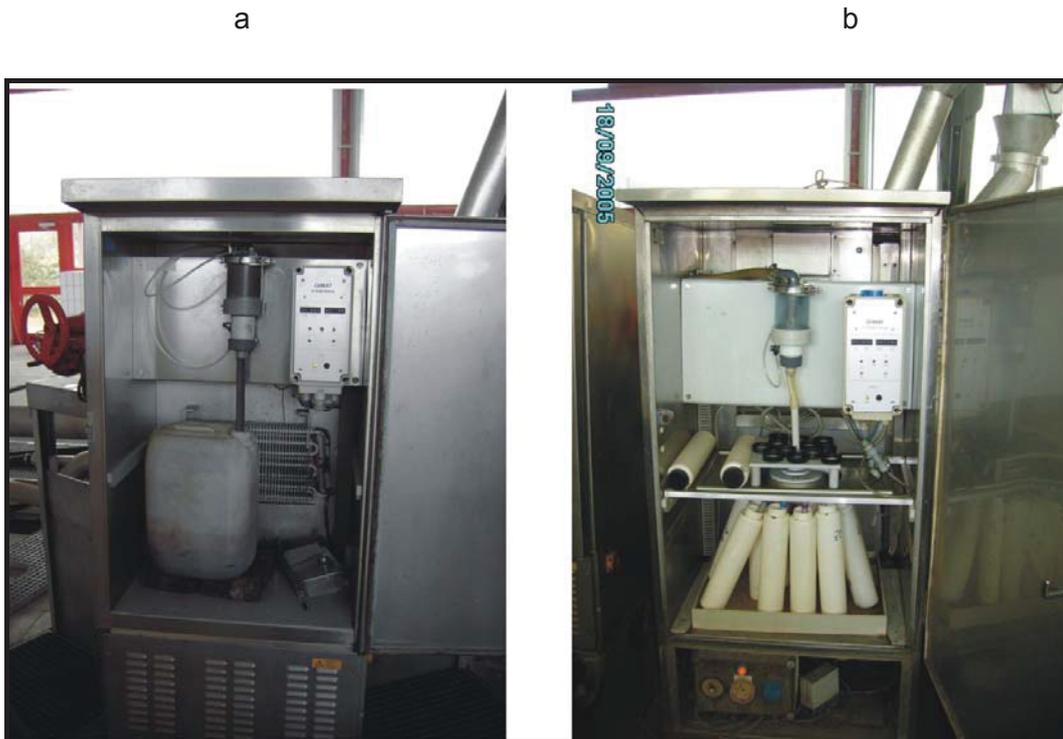


Abb. 13: Probenehmer, Tagesmischproben (a) und Intensivbeprobung (b)

Datum	Zeit	Datum	Zeit	Anzahl
Von		Bis		
30.05.2005	12:30	01.06.2005	12:30	24
25.10.2005	09:00	27.10.2005	09:00	24
21.02.2006	09:00	23.02.2006	09:00	12
01.03.2006	10:00	02.03.2006	10:00	6**

Tab. 13: Intensivbeprobungen des Zulaufs (**Filtrate)

Datum		Zeit		Anzahl
Von	Bis	Von	Bis	
02.06.2005	03.06.2005	12:00	07:30	1
03.06.2005	10.06.2005	07:30	07:30	7
09.10.2005	10.10.2005	07:00	07:00	1
	11.10.2005	10:00		1*
11.10.2005	14.10.2005	07:00	07:00	3
15.10.2005	19.10.2005	07:00	07:00	4
21.10.2005	22.10.2005	07:00	07:00	1
13.02.2006	21.02.2006	07:00	07:00	8
23.02.2006	25.02.2006	07:00	07:00	2
04.04.2006	20.04.2006	07:00	07:00	16
04.06.2006	14.06.2006	07:00	07:00	10**
18.06.2006	20.06.2006	07:00	07:00	2**

Tab. 14: Tagesmischproben des Zulaufs (* Stichprobe, **Filtrate)

Mit der Intensivbeprobung des Zulaufs wurde am 30. Mai um 12:30 begonnen. Der erste Flaschenwechsel wurde um 14:30 vollzogen. Dieser Zweistundenrhythmus wurde während der Intensivbeprobung und der zweiten Beprobungsphase beibehalten. Für die Intensivbeprobung der dritten Beprobungsphase und der zusätzlichen Beprobung im März 2006 wurde das Probenahmeintervall von zwei auf vier Stunden geändert. Aufgrund des Versagens der Elektronik des zweiten Probenehmers musste auf die Intensivbeprobung der vierten Beprobungsphase (04/05-2006) verzichtet werden. Der Zeitraum der Beprobung der mengenproportionalen Tagesmischproben wurde dafür verlängert.

5.1.4 Presswasser

Die Probenahme erfolgte durch Mitarbeiter der Kläranlage. Die Stichproben (Tab. 15) wurden dabei am Überlaufstutzen (Abb. 13) entnommen.

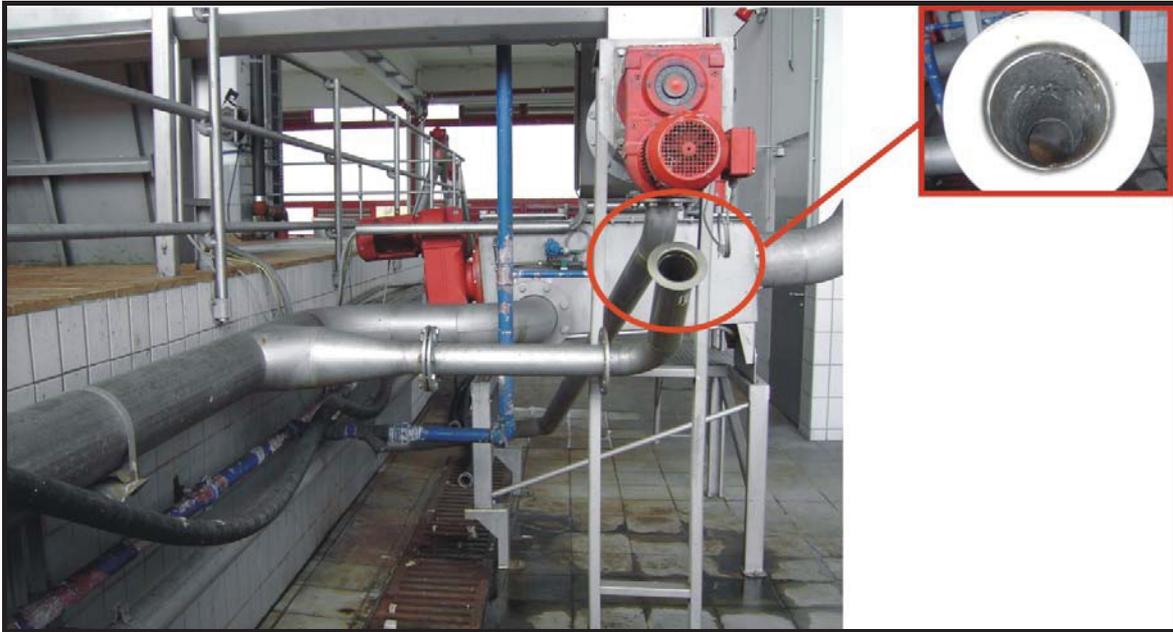


Abb. 14: Probenentnahmestelle Presswassers

Datum		Anzahl	Datum		Anzahl
Von	Bis		Von	Bis	
01.06.2005	02.06.2005	2	10.10.2005	19.10.2005	10
04.06.2005	05.06.2005	2	14.02.2006	23.02.2006	10
08.06.2005	10.06.2005	3			

Tab. 15: Stichproben des Presswassers

Aufgrund eines Defekts der Presse konnte während der vierten Beprobungsphase (04/05-2006) das Presswasser nicht beprobt werden.

5.1.5 Sandwaschwasser

Die Probenahme (Tab. 16) erfolgte durch Mitarbeiter der Kläranlage nach dem Sandwäscher.

Datum		Anzahl	Datum		Anzahl
Von	Bis		Von	Bis	
01.06.2005	04.06.2005	4	13.06.2005		1
06.06.2005		1	10.10.2005	19.10.2005	10
08.06.2005		1	14.02.2006	23.02.2006	10
10.06.2005		1	10.04.2006	19.04.2006	10

Tab. 16: Sandwaschwasser-Proben

5.1.6 Wasserproben am Ablauf

Mengenproportionale Tagesmischproben des Ablaufs (Tab. 17) wurden mittels eines bereitstehenden Probenehmers (Abb. 15) entnommen. Für die Vierstundemischproben der Intensivbeobachtung (s. Tab. 18) wurde ein zusätzlicher Probenehmer installiert, der alle 10 Minuten nicht mengenproportional 30–40 ml Wasser aus dem Ablauf entnahm.



Abb. 15: Probenehmer für die Tagesmischproben am Ablauf

Datum		Zeit		Anzahl
Von	Bis	Von	Bis	
03.06.2005	06.06.2005	07:30	07:30	3
07.06.2005	13.06.2005	07:30	07:30	6
09.10.2005	14.10.2005	07:00	07:00	5
15.10.2005	19.10.2005	07:00	07:00	4
21.10.2005	22.10.2005	07:00	07:00	1
13.02.2006	25.02.2006	07:00	07:00	12
11.03.2006	15.03.2006	07:00	07:00	4**
04.04.2006	20.04.2006	07:00	07:00	16
06.06.2006	14.06.2006	07:30	07:30	8**
18.06.2006	20.06.2006	07:30	07:30	2**

Tab. 17: Tagesmischproben des Ablaufs (**Filtrate)

Datum	Zeit	Datum	Zeit	Anzahl
Von		Bis		
06.06.2005	13:45	8.6.2005	13:00	12
08.06.2005	13:00	10.6.2005	16:00	13
11.10.2005	12:30	12.10.2005	11:00	6
12.10.2005	11:00			1*
12.10.2005	11:00	13.10.2005	15:00	7

Tab. 18: Intensivbeprobung am Ablauf, 1. und 2. Beprobungsphase (*Stichprobe)

Die Intensivbeprobung zeigte, dass sich die Werte innerhalb von einem bzw. zwei Tagen nicht signifikant verändern, sich aber zwischen den Beprobungsphasen deutlich unterscheiden (Abb. 16). Daher wurde der Beprobungsmodus umgestellt und die Intensivkampagnen in weiterer Folge nicht mehr durchgeführt.

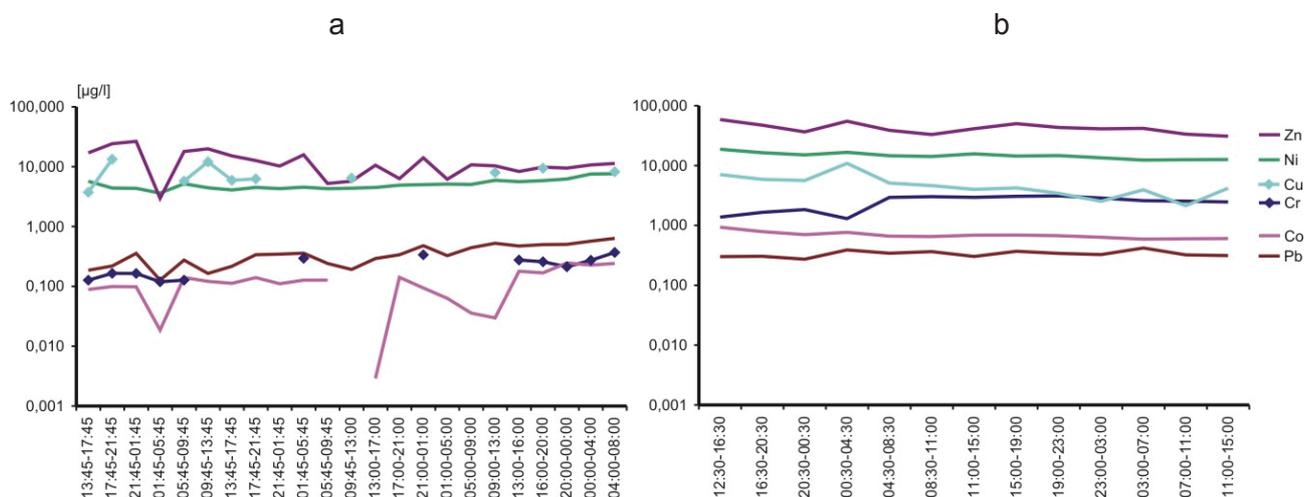


Abb. 16: Ergebnisse der Intensivbeprobung des Ablaufs im Juni (a) und Oktober 2005 (b)

5.1.7 Filtrierte Proben

Um Partikel größer und kleiner $0,2\ \mu\text{m}$ zu analysieren, wurden in zwei Zeiträumen (März und Juni 2006) Proben des Zu- und Ablaufs der Kläranlage gezogen. Die Beprobung der Tagesmischproben erfolgte durch Mitarbeiter der Kläranlage, die Intensivproben (im Vierstundenrhythmus) wurden selbstständig genommen. Bei nicht selbständiger Beprobung wurden die Proben, gekühlt für ca. zwei Stunden auf der Kläranlage gelagert und dann zur weiteren Bearbeitung abgeholt.

5.1.8 Röntgenfluoreszenzproben

Durch Röntgenfluoreszenzanalysen wurden die Hauptelemente Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, S und P einer monatlichen Stichprobe des Leobner Klärschlammes und jeweils eine Probe der Fremdschlämme gemessen (s. Appendix Tab. 14, 15, 16 und 17). Untersucht wurden somit 15 Proben des Leobner Klärschlammes und jeweils eine Probe aus Aflenz, St. Lorenzen, Göss und Mautern.

5.1.9 Röntgendiffraktometerproben

Aus drei ausgewählten Klärschlammproben wurde ein getrocknetes, analysefein gemahlene, ansonsten unbehandeltes, strukturloses Präparat angefertigt. Die Klärschlämme wurden aufgrund der Daten der Zeitreihe (s. Abb. 38) ausgewählt.

5.1.10 Glühverlust

Der Glühverlust der Schlammproben wurde an allen Proben bestimmt. Um ein Verpuffen der Proben zu verhindern wurden sie schrittweise (ca. 20 min bei 300°C , ca. 20 min bei 500°C , ca. 20 min bei 700°C , 90 min bei 1000°C) erhitzt.

5.2 Probenvorbereitung

Die Klärschlämme wurden 15 bis 25 Tage bei 40°C im Trockenschrank getrocknet und 10 min in der Achatmörsermühle analysenfein gemahlen. Die Fremdschlämme wurden 5 min bei 4000U/min zentrifugiert, in Bechergläser überführt und je nach Wassergehalt bei 40°C 20 bis 35 Tage getrocknet. Nach der Trocknung wurden sie 10 min in der Achatmühle analysenfein gemahlen. Ein Teil der Proben wurde separiert und bei 103°C getrocknet. Dabei zeigten sich im Gewichtsverlust keine Unterschiede zum bei 40°C getrockneten Teil.

5.3 Aufschluss - Massenspektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasma als Ionenquelle

Mittels Feinwaage wurden ca. 200 mg Klär- bzw. Fremdschlamm in Teflongefäßen eingewogen und mit 6 ml HNO₃ (65%) subboiled versetzt. Nach der Aufheizung in einem Mikrowellengerät (von 400 auf 1000 W in 6 min, 30 min bei 1000 W, 15 min bei 0 W) wurden die Teflongefäße mit H₂O-MilliQ ausgespült, in Sarstedt-Röhrchen überführt und auf 50 ml aufgefüllt. Die verwendeten Teflongefäße wurden vorher in einem Reinigungsaufschlusses (3 ml HNO₃ + 1 ml HF + 1 ml H₂O₂) kurz erhitzt und ausgespült.

Aus den geschüttelten Wasserproben wurden 40 ml in Sarstedt-Röhrchen (Fassungsvermögen 50 ml) überführt. Die Probe wurde bei 4500 U/min 8 min zentrifugiert, 10 ml durch einen Spritzenfilter (0,2 µm) filtriert, mit 20 µl HNO₃ (65%) subboiled angesäuert und im Kühlschrank bis zur Messung aufbewahrt. Die Spritzen und die zugehörigen Filter wurden mit 1%iger HNO₃ und 3-mal mit H₂O-MilliQ aus- bzw. durchgespült.

Die gewonnenen Filtrat-Proben des Zu- und Ablaufs wurden geschüttelt und in einer Filtrationseinheit mit angeschlossener Wasserstrahlpumpe filtriert. Die Filter (0,2 µm, Schleicher & Schuell) wurden mit HNO₃ vorgewaschen und bei 60°C getrocknet. Das Leergewicht des Filters wurde mittels Feinwaage bestimmt. Bei den Proben des Zulaufs wurden immer 50 ml filtriert, bei Proben des Ablaufs 100, 250 bzw. 500 ml. Die gewonnene Lösung wurde geschüttelt, 40 ml in Sarstedt-Röhrchen überführt, mit 20 µl HNO₃ (65%) subboiled angesäuert und gekühlt bis zur Messung aufbewahrt. Die

Filter wurden 2 Tage bei 60°C getrocknet und dann ausgewogen. Die Probenmenge wurde mittels Differenz von Ein- und Auswage bestimmt. Der Filter wurde mit 4,5 ml konz. HCl subboiled, 1,5 ml konz. HNO₃ subboiled und 1,0 ml konz. HF subboiled in einem Mikrowellengerät (Anton Paar, Multiwave; 400 auf 1000 W in 6 min, 30 min bei 1000 W, 15 min bei 0 W) aufgeschlossen.

5.4 Aufschluss - Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Proben wurden bei 110°C 24 Stunden getrocknet. Danach wurde der Glühverlust bestimmt. Die Proben wurde in 200°C-Schritten auf 1000°C aufgeheizt, für 1,5 Stunden geglüht und gewogen. Nach dem Glühvorgang wurden sie in der Achatmühle gemahlen und im Verhältnis 1:8 mit Lithiumtetraborat vermischt. Mit dem Aufschlussgerät Fusion (Machine Type VAA“) wurden bei 1000 – 1300°C Schmelzperlen erzeugt.

5.5 Chemische Analyse

Die Messung erfolgte nach dem Prinzip der Massenspektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasma als Ionenquelle (ICP-MS, Gerätetyp AGILENT 4500) am Lehrstuhl für Allgemeine und Analytische Chemie der Montanuniversität Leoben (B. Runge, Th. Meisel). Als Referenzmaterial wurden für die Schlammproben die Materialien der Tabelle 19, für die Wasserproben die Materialien der Tabelle 20 verwendet. Wasserproben wurden mit fünf Wiederholungsmessungen analysiert. Fremd- bzw. Klärschlämme wurden zweimal aufgeschlossen und jeweils fünfmal gemessen.

Quecksilbermessungen wurden mit dem Hydrid System (FIAS-THGA-Koppelung) unter Zugabe von 0,5 µl Kaliumpermanganatlösung zur Stabilisation der Proben durchgeführt. Arsen wurde mit einem Graphitrohr-AAS gemessen. Diese Analysen erfolgten am Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre der Montanuniversität Leoben (W. Prochaska).

Die Röntgenfluoreszenzproben wurden mittels PANalytical – Gerätetyp Axios am Lehrstuhl für Allgemeine und Analytische Chemie der Montanuniversität Leoben

(H. Falk, T. Meisel) gemessen. Die röntgendiffraktometrischen Untersuchungen wurden am Lehrstuhl für Prospektion und Angewandte Sedimentologie der Montanuniversität Leoben (F. Seidl) durchgeführt.

Community Bureau of References - BCR BCR No 144 Trace Elements in a Sewage Sludge				National Research Council, Canada MESS-2 Marine Sediments Reference Materials			
Element	Gehalt [µg/g]	95 % Konfidenzintervall		Element	Gehalt [µg/g]	95 % Konfidenzintervall	
Cd	4,82	+/-	0,97	Cd	0,24	+/-	0,01
Co	9,06	+/-	0,6	Cr	106	+/-	8
Cu	713	+/-	26	Co	13,80	+/-	1,4
Mn	449	+/-	13	Cu	39,3	+/-	2
Hg	1,49	+/-	0,22	Pb	21,9	+/-	1,2
Ni	942	+/-	22	Mn	365	+/-	21
Pb	495	+/-	19	Hg	0,092	+/-	0,009
Zn	3134	+/-	103	Mo	2,85	+/-	0,12
				Ni	49,3	+/-	1,8
				V	252	+/-	10
				Zn	172,00	+/-	16

Tab. 19: Referenzmaterialien für Schlammproben

National Institute of Standards & Technology, USA Standard Reference Material 1643d Trace Elements in Water				National Research Council, Canada SLRS-3 Reverine Water Reference Material for Trace Metals			
Element	Gehalt [µg/l]	95 % Konfidenzintervall		Element	Gehalt [µg/l]	95 % Konfidenzintervall	
As	56,02	+/-	0,73	As	0,72	+/-	0,05
Cd	6,47	+/-	0,37	Cd	0,013	+/-	0,002
Cr	18,53	+/-	0,2	Cr	0,30	+/-	0,04
Co	25,00	+/-	0,59	Co	0,027	+/-	0,003
Cu	20,5	+/-	3,8	Cu	1,35	+/-	0,07
Fe	91,2	+/-	3,9	Fe	100	+/-	2
Pb	18,15	+/-	0,64	Pb	0,068	+/-	0,007
Mn	37,66	+/-	0,83	Mn	3,9	+/-	0,3
Mo	112,9	+/-	1,7	Mo	0,19	+/-	0,01
Ni	58,1	+/-	2,7	Ni	0,83	+/-	0,08
V	35,1	+/-	1,4	V	0,30	+/-	0,02
Zn	72,48	+/-	0,65	Zn	1,04	+/-	0,09

Tab. 20: Referenzmaterialien für Wasserproben

6 Resultate

Die statistischen Kennwerte der Schlamm- und Wasseranalysen sind in den Tabellen 21, 22 und 23 angeführt.

6.1 Klär- und Fremdschlämme

Leoben					
	mean	sdv	med	min	max
Hg	1,0	0,3	0,9	0,6	2,1
Cd	1,2	0,3	1,1	0,4	2,0
As	4,0	2,7	3,5	0,3	11,1
Co	6,3	1,4	6,3	4,1	13,3
Pb	65,8	22,1	61,5	39,4	122,0
Ni	75,0	27,5	71,6	41,7	221,9
Cr	99,3	30,4	98,5	40,1	175,5
Cu	197,6	23,6	201,5	144,2	253,3
Zn	679,6	63,6	685,0	544,2	841,2
LOI	52,1	4,7	52,3	38,8	62,6

Gesamt (Klär- und Fremdschlämme)					
	mean	sdv	med	min	max
Hg	0,6	0,6	0,4	0,1	3,2
Cd	0,6	0,2	0,6	0,2	1,2
As	4,3	8,4	1,3	0,3	38,7
Co	4,8	2,2	4,4	1,6	11,6
Pb	28,3	16,2	22,9	8,7	69,5
Ni	63,6	34,5	54,3	22,1	244,0
Cr	119,6	110,2	115,9	4,4	796,5
Cu	146,1	57,0	127,7	63,1	382,0
Zn	720,7	213,7	690,9	328,2	1212,6
LOI	67,2	7,0	68,2	46,1	80,7

Tab. 21: Statistische Kennwerte der Klärschlamm-Analysen ($\mu\text{g/g}$), mean (Mittelwert), sdv (Standardabweichung), med (Median), min (Minimalwert), max (Maximalwert)

Göss					
	mean	sdv	med	min	max
Hg	0,17	0,13	0,12	0,05	0,56
As	4,13	9,93	1,21	0,30	38,70
Co	3,75	1,56	3,49	1,57	10,20
Pb	16,68	8,10	13,71	8,73	47,16
Ni	52,72	34,20	46,16	30,01	244,03
Cr	162,83	127,83	132,65	87,11	796,48
Cu	113,65	26,71	109,54	63,08	185,93
Zn	581,27	133,81	582,80	328,21	972,13
LOI	66,8	6,0	67,5	55,3	77,7

St. Lorenzen					
	mean	sdv	med	min	max
Hg	1,0	0,6	0,8	0,5	1,9
Cd	0,5	0,1	0,5	0,3	0,6
As	5,6	2,5	6,5	2,3	8,3
Co	4,5	0,8	4,4	3,2	5,5
Pb	30,8	7,7	29,4	23,6	40,5
Ni	57,9	18,0	63,9	22,4	72,6
Cr	36,0	19,9	37,4	15,5	55,3
Cu	200,6	39,7	186,4	171,5	275,3
Zn	814,6	172,4	782,4	666,7	1104,3
LOI	71,1	1,9	71,6	67,5	72,5

Aflenz					
	mean	sdv	med	min	max
Hg	1,2	0,5	1,1	0,9	2,8
Cd	0,6	0,2	0,6	0,3	0,9
As	2,7	1,7	2,3	0,5	6,3
Co	5,1	1,7	5,0	2,9	7,5
Pb	42,2	7,7	42,9	31,6	55,3
Ni	67,4	33,3	65,4	22,1	114,8
Cr	54,6	25,4	66,2	4,4	76,3
Cu	229,5	54,4	209,6	184,6	382,0
Zn	930,7	134,3	905,5	748,9	1152,3
LOI	70,6	7,5	71,4	58,7	80,7

Mautern					
	mean	sdv	med	min	max
Hg	1,2	0,7	1,0	0,7	3,2
Cd	0,7	0,3	0,7	0,2	1,2
As	6,0	1,9	5,6	3,4	8,7
Co	7,7	2,3	6,7	5,4	11,6
Pb	50,0	9,5	46,1	40,7	69,5
Ni	97,2	20,0	93,5	58,6	126,8
Cr	95,2	43,3	89,3	35,4	161,2
Cu	132,6	19,7	127,1	107,2	168,7
Zn	905,4	170,5	888,2	660,1	1212,6
LOI	63,3	9,2	67,4	46,1	71,1

Tab. 22: Statistische Kennwerte der Fremdschlamm-Analysen ($\mu\text{g/g}$)

Zulauf, Tagesmischproben

	mean	sdv	med	min	max
As	0,86	0,66	0,71	0,14	4,08
Co	0,35	0,14	0,33	0,12	0,63
Pb	0,35	0,14	0,33	0,12	0,63
Ni	9,29	8,01	7,99	2,39	61,69
Cr	3,15	1,47	3,16	0,31	8,82
Cu	3,77	3,63	2,44	0,26	17,52
Zn	24,10	19,28	17,97	1,34	99,41
Cd	<0,1				
Hg	<0,1				

Ablauf, Tagesmischproben

	mean	sdv	med	min	max
As	1,94	1,83	1,40	0,77	10,58
Co	0,47	0,11	0,47	0,17	0,83
Pb	0,30	0,11	0,30	0,06	0,88
Ni	8,51	3,67	7,54	4,28	20,86
Cr	7,19	6,79	4,82	0,04	34,39
Cu	1,87	1,23	1,56	0,45	7,28
Zn	21,44	13,19	18,74	2,91	59,13
Cd	<0,1				
Hg	<0,1				

Sandwaschwasser

	mean	sdv	med	min	max
As	0,95	0,66	0,84	0,15	3,49
Co	0,65	0,88	0,41	0,06	5,18
Pb	0,15	0,13	0,13	0,01	0,58
Ni	10,57	10,81	6,71	0,87	55,09
Cr	2,11	2,10	1,53	0,39	10,33
Cu	1,07	1,05	0,83	0,07	4,82
Zn	15,76	12,52	13,50	1,05	59,19
Cd	<0,1				
Hg	<0,1				

Presswasser

	mean	sdv	med	min	max
As	0,74	0,26	0,70	0,41	1,36
Co	0,42	0,27	0,35	0,11	1,07
Pb	0,20	0,20	0,17	0,01	1,02
Ni	7,47	6,60	4,14	1,10	22,63
Cr	1,52	2,01	0,74	0,06	8,65
Cu	3,72	2,41	3,64	0,44	9,22
Zn	19,82	11,36	17,93	4,44	47,20
Cd	<0,1				
Hg	<0,1				

Tab. 23: Statistische Kennwerte Wasseranalysen ($\mu\text{g/l}$, $<0,2 \mu\text{m}$)

6.1.1 Klärschlamm der Kläranlage Leoben

Die Grenzwerte der Kompostverordnung 2001 für Schlamm als Ausgangsmaterial für Kompost werden mit Ausnahme von Nickel eingehalten (Abb. 17).

Die Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost wurden überwiegend von Chrom (Grenzwert bei 70 mg/kg) und Nickel (Grenzwert 60 mg/kg), in einzelnen Proben bei Blei (Grenzwert bei 100 mg/kg) und in einer Probe bei Quecksilber (Grenzwert 2 mg/kg) und Cadmium (Grenzwert 2 mg/kg) überschritten (Abb. 17).

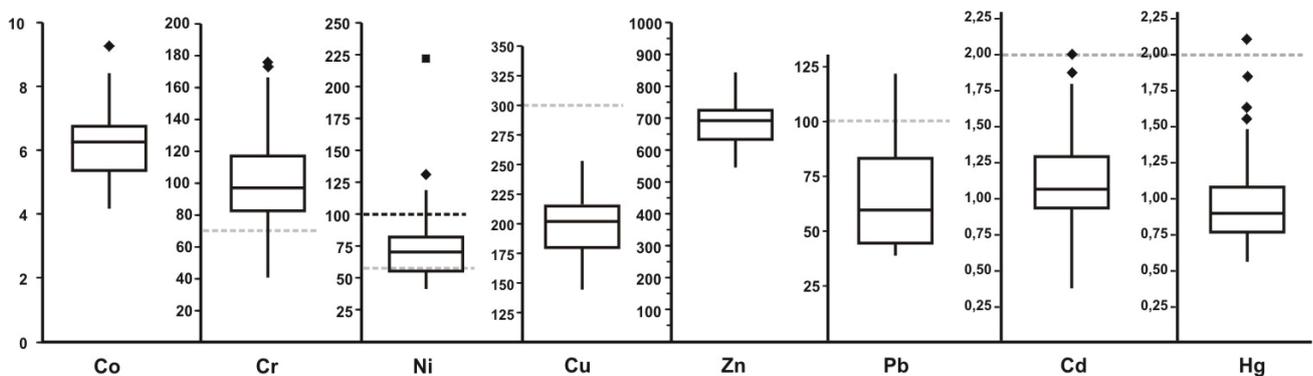


Abb. 17: Boxplots der Schwermetalle [$\mu\text{g/g}$] im Klärschlamm aller Proben (Ausreißer \blacklozenge , weit entfernte Ausreißer \blacksquare). Die schwarzen Striche markieren die Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Klärschlammkompost. Die hellgrauen Striche markieren die Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost nach der Kompostverordnung 2001

6.1.2 Fremdschlamm aus Göss, Mautern, Aflenz und St. Lorenzen

Der Vergleich der Abb. 17 charakterisiert den Fremdschlamm aus Mautern als durchwegs belastet. Das als kritisch zu bewertenden Element Chrom (Abb. 17) kann durch die Mischung der Fremdschlämme im Eindicker 2 mit einem im Vergleich nicht besonders an Chrom angereicherten Leobner Primärschlamm erklärt werden. Im Gegensatz dazu, muss Nickel im Leobner Primärschlamm relativ angereichert sein, um die hohen Werte im Eindicker 2 erklären zu können. Signifikante regionale

Differenzen sind bei Chrom, Kupfer, Nickel und Blei festzustellen. Die hohen Chrom-Gehalte in den Fremdschlammungen aus Göss (Abb. 18) können durch die Verwendung von sauren Reinigungsmitteln bei der Reinigung der Stahlfässer in der Brauerei Göss verursacht werden.

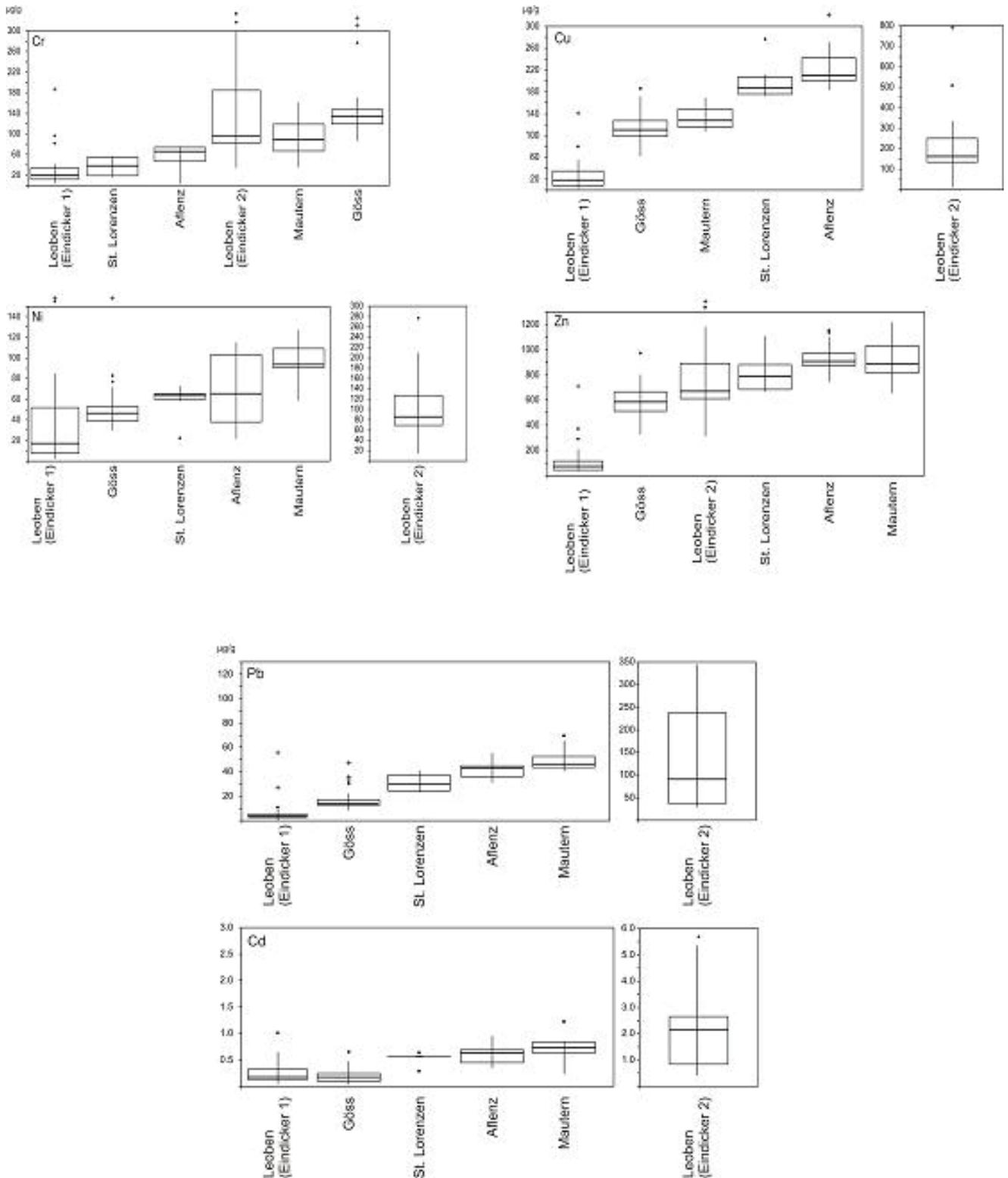


Abb. 18: Vergleich der Schwermetallkonzentrationen in den Fremdschlammungen

6.1.3 Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse sind in Abb. 19 und 20 dargestellt.

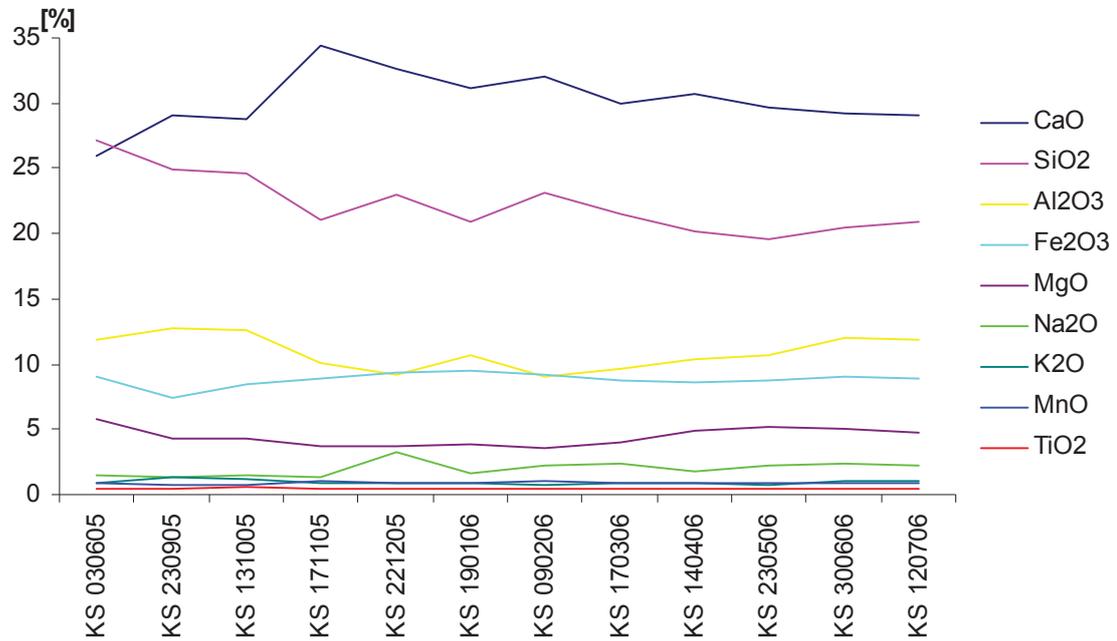


Abb. 19: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Leobner Klärschlämme

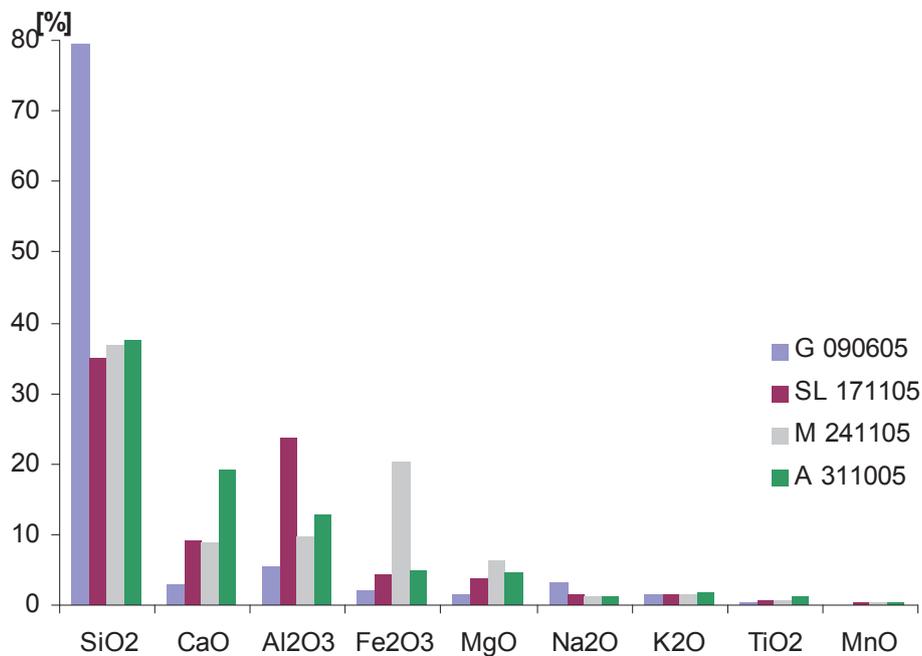


Abb. 20: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Fremdschlämme aus Göss, St. Lorenzen, Mautern und Aflenz

6.1.4 Röntgendiffraktometrie

Um Unterschiede in den einzelnen Proben optisch erfassen zu können werden die drei gemessenen Leobner Klärschlammproben Abb. 21 gemeinsam dargestellt.

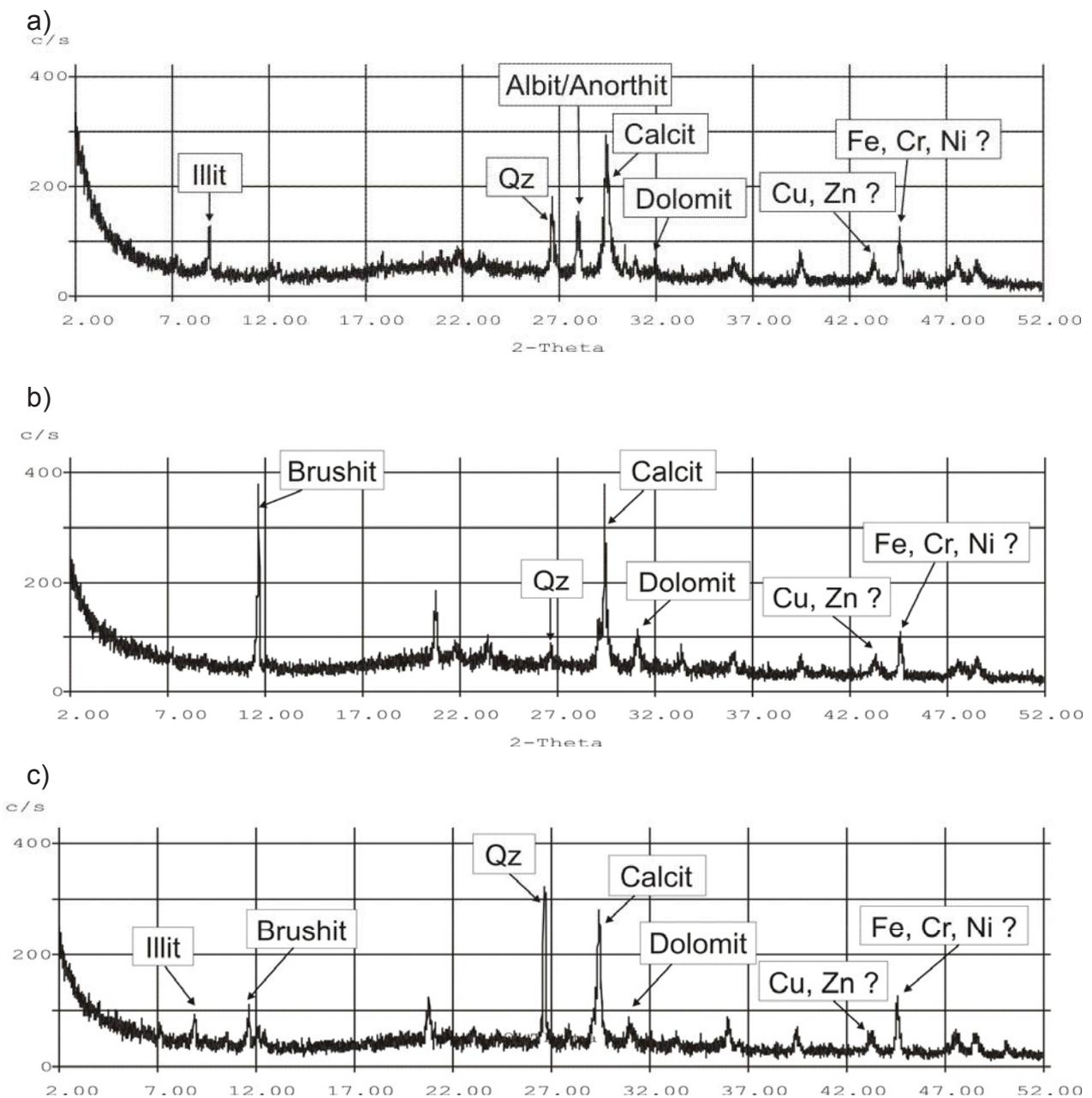


Abb. 21: Röntgendiffraktogramm a) KS 090206 (9. Februar 2006),
b) KS 030306 (3. März 2006), c) KS 250406 (25. April 2006)

6.2 Zulauf

Die Häufigkeitsverteilungen der Elemente Kobalt, Chrom, Nickel, Kupfer, Zink und Blei im Filtrat <0,2 µm der Tagesmischproben sind in Abb. 22 dargestellt. Die Kupfer- und Zink-Gehalte zeigen eine hohe Variabilität. Die Konzentrationen von Cadmium und Quecksilber liegen durchwegs unterhalb der Nachweisgrenze von 0,1 µg/l und werden deswegen hier nicht dargestellt.

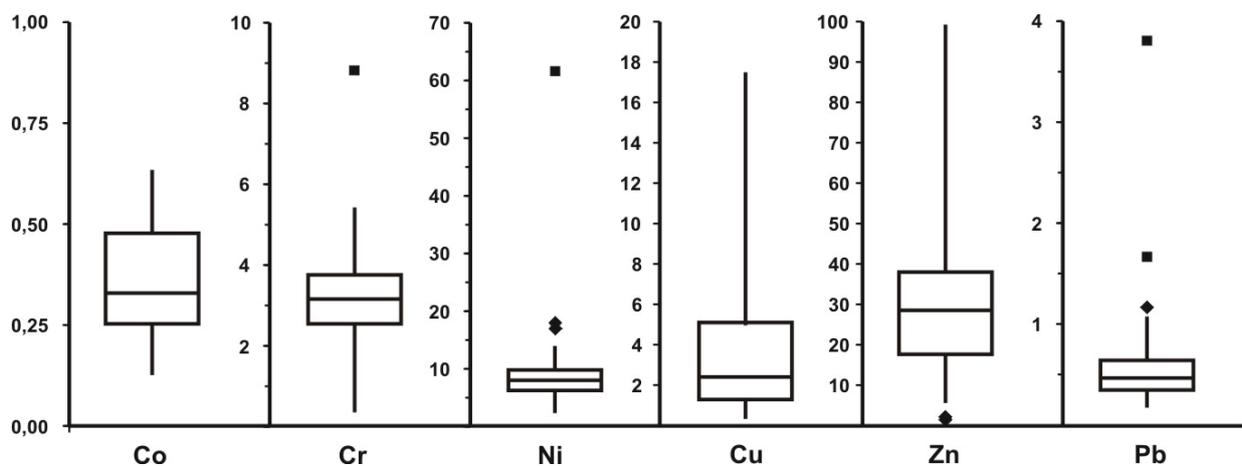


Abb. 22: Boxplots der Schwermetalle am Zulauf [µg/l] im Filtrat <0,2 µm der Tagesmischproben aller Probennahmephasen, (Ausreißer ♦, weit entfernte Ausreißer ■)

6.3 Ablauf

Die Häufigkeitsverteilungen der Elemente Kobalt, Chrom, Nickel, Kupfer, Zink und Blei im Filtrat <0,2 µm der Tagesmischproben sind in Abb. 23 dargestellt. Festzuhalten ist, dass Chrom, Zink, Kupfer und Nickel über einen großen Wertebereich schwanken. Kobalt und Blei hingegen sind als gering variabel zu betrachten. Die Konzentrationen von Cadmium und Quecksilber befanden sich durchgehend unterhalb der Nachweisgrenze von 0,1 µg/l und werden deswegen hier nicht dargestellt.

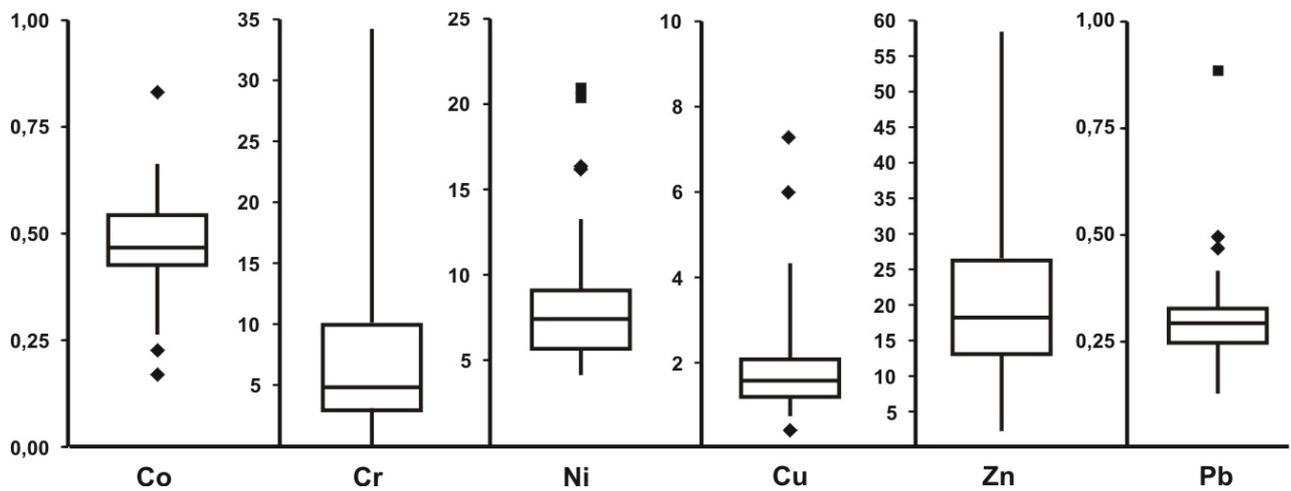


Abb. 23: Boxplots der Schwermetalle am Ablauf [µg/l] im Filtrat <0,2 µm der Tagesmischproben aller Probennahmephasen, (Ausreißer ◆, weit entfernte Ausreißer ■)

Vergleicht man die Konzentrationen des Zulaufs mit den Werten des Ablaufs, so sieht man, dass die Konzentration von Nickel und Kobalt annähernd gleich bleiben. Die Reduktion der Konzentration der Elemente Kupfer, Zink und Blei veranschaulicht den Reinigungsprozess der Kläranlage. Für Chrom wurden aber deutlich höhere Werte im Ablauf als im Zulauf festgestellt. Dies spricht für Lösungsprozesse oder für eine Chrom-Zufuhr innerhalb der Kläranlage.

6.4 Fiträte

Da man mit filtrierten Proben <0,2 µm nur einen elementspezifisch unterschiedlich kleinen Anteil der Schwermetallfrachten erfassen kann, wurden in einigen Proben die Konzentrationen in Filtrerrückständen >0,2 µm analysiert (s. Tab. 13, 14 und 17).

Anhand von Abbildung 24 kann man erkennen, dass die Schwermetalle im zufließenden Abwasser im Gegensatz zum abfließenden Wasser größtenteils an Partikel >0,2 µm gebunden sind.

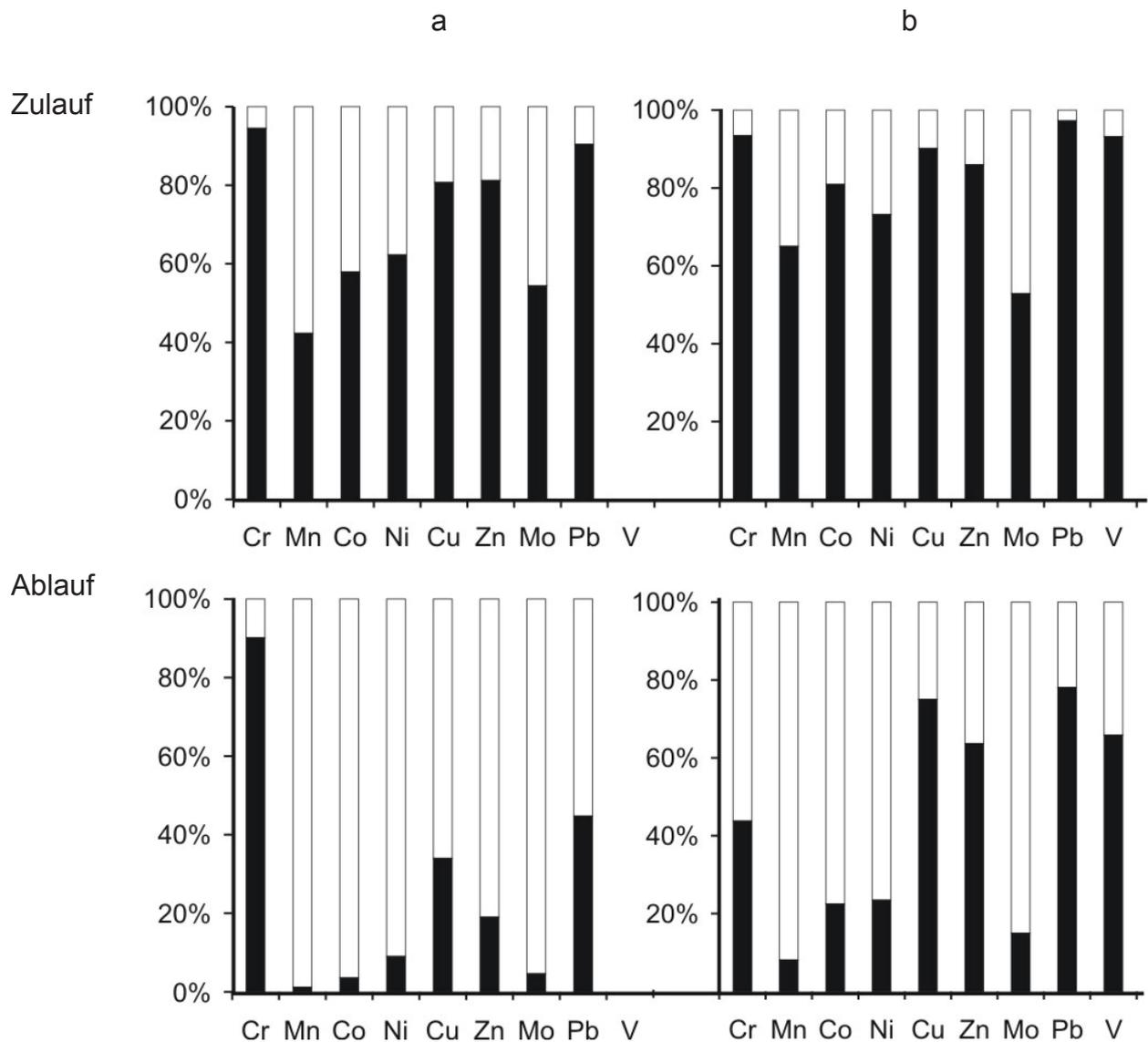


Abb. 24: Partitionierung der Elementverhältnisse zwischen partikulärer (>0,2 µm, schwarz) und gelöster (<0,2 µm, weiß) Phase im Zulauf und Ablauf im März (a) und Juni (b) 2006

6.5 Sequentielle Extraktion

Zur Einschätzung des durch Schwermetallionen hervorgerufenen Gefahrenpotentials wurden einige Klärschlammproben zwei unterschiedlicher sequentiellen chemischen Extraktionsverfahren unterzogen (Abb. 25). Die Ergebnisse der Extraktionsfolgen 1 und 2 stimmen für Chrom, Nickel, Kupfer und Blei gut überein. Jedoch werden im 2. Schritt der Extraktionsfolge 2 sowohl die mäßig reduzierbar als auch die oxidierbar gebundenen Anteile extrahiert, so dass keine Differenzierung zwischen diesen möglich ist. Eine Unterscheidung zwischen austauschbar und karbonatisch

gebundenen Anteilen ist nach Extraktionsfolge 2 ebenfalls nicht möglich. Für Zink stimmen die austauschbar und residual gebundenen Anteile beider Extraktionsfolgen überein, bei den karbonatisch, leicht bzw. mäßig reduzierbar sowie oxidierbar gebundenen Anteilen zeigen sich deutliche Unterschiede der Extraktionsfolgen (Abb. 25). (Runge et al., 2006)

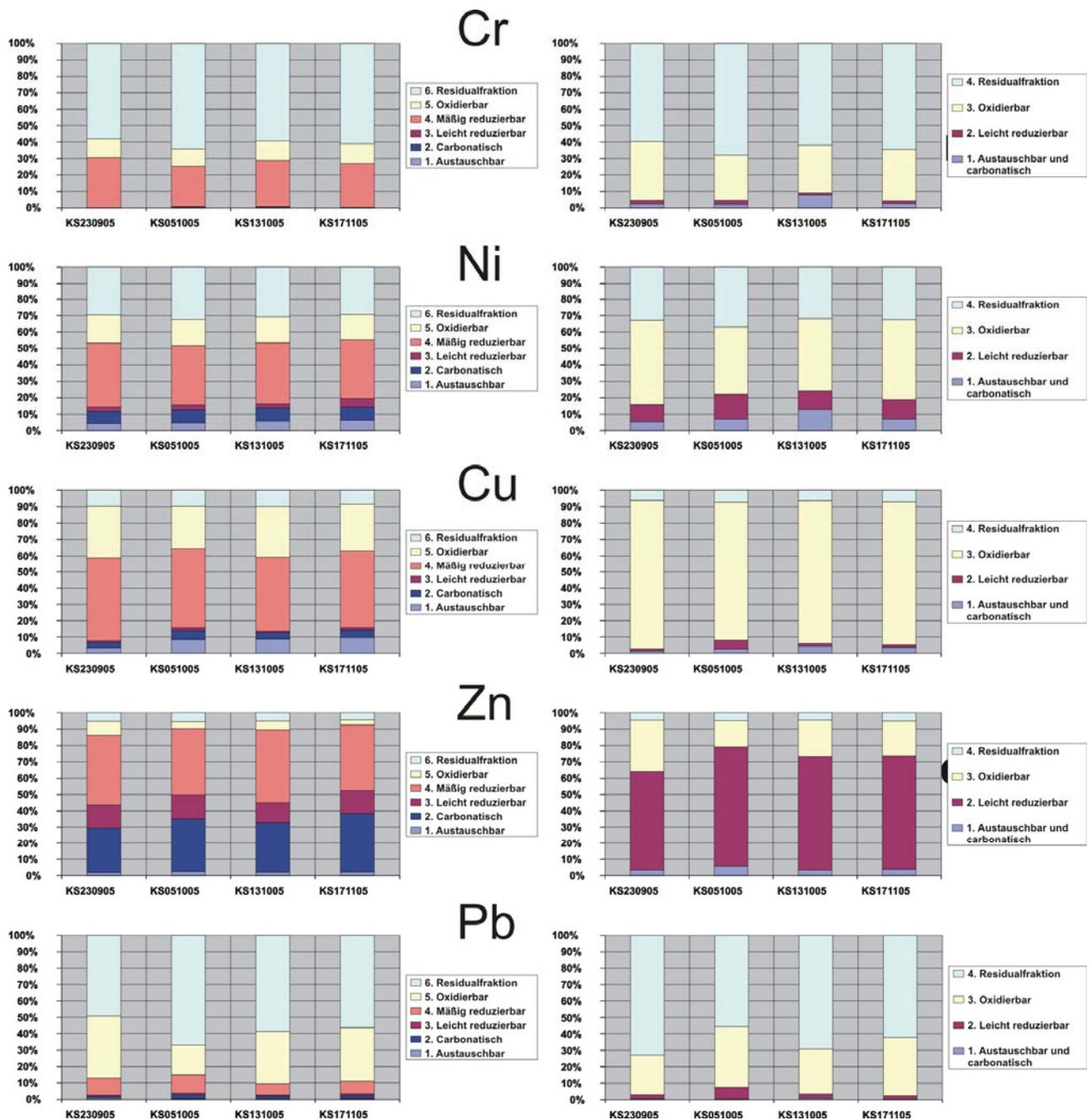


Abb. 25: Ergebnisse der sequentiellen chemischen Extraktion der Leobner Klärschlämme vom 23.09.2005, 05.10.2005, 13.10.2005 und 17.11.2005

7 Diskussion

7.1 Einleitung

Durch die Beprobung des ausgefaulten Klärschlammes konnte eine Zeitreihe der Schwermetallkonzentrationen erstellt werden (s. Abb. 39). Da allerdings im Beprobungszeitraum der technische Ablauf des Klärprozesses umgestellt wurde, stellen sich durch die damit verbundene Inhomogenität des Datensatzes wesentliche Interpretationsprobleme. Die Umstellung wurde im Nachhinein an den deutlich höheren Chrom-Gehalten in den Ablaufproben erkannt (s. Abb. 37). Nickel hingegen zeigt keine höheren Werte in den Ablaufproben im Februar 2006 (s. Abb. 38). Da Nickel und Chrom (s. Abb. 39) die niedrigsten Konzentrationen im Klärschlamm im Februar und März 2006 aufweisen, kann nicht die Umstellung des Klärprozesses an diesen verantwortlich sein. Vielmehr scheint es so, als ob die Schwankungen in den Nickel- und Chrom-Konzentrationen im Klärschlamm direkt mit dem Einzugsgebiet in Verbindung stehen.

7.2 Staubbelastung

Zur Bewertung der lokalen Staubbelastung werden die Daten der Luftgüteüberwachung herangezogen. Die zeitliche Variabilität der PM_{10} Feinstaubmenge zeigt eine gewisse Variabilität, allerdings kann im Zeitraum März-April 2006 kein signifikanter Anstieg der Feinstaubmenge erkannt werden (s. Abb. 26). In den Filterrückständen können im Frühjahr bei den meisten Stationen außerhalb von Donawitz, dem Zentrum der Staubproduktion, höhere Werte erkannt werden (Daten aus der steirischen Luftgüteüberwachung). In Donawitz ist bei gleich bleibender Deposition, eine Zunahme der Chrom und Nickelkonzentrationen im Frühjahr zu erkennen (s. Abb. 26). Nachdem eine zeitlich konstante Produktion anzunehmen ist, kann hier eine Überprägung durch den Industriestaub vermutet werden. (Rantitsch in Reinhofer et. al., 2007)

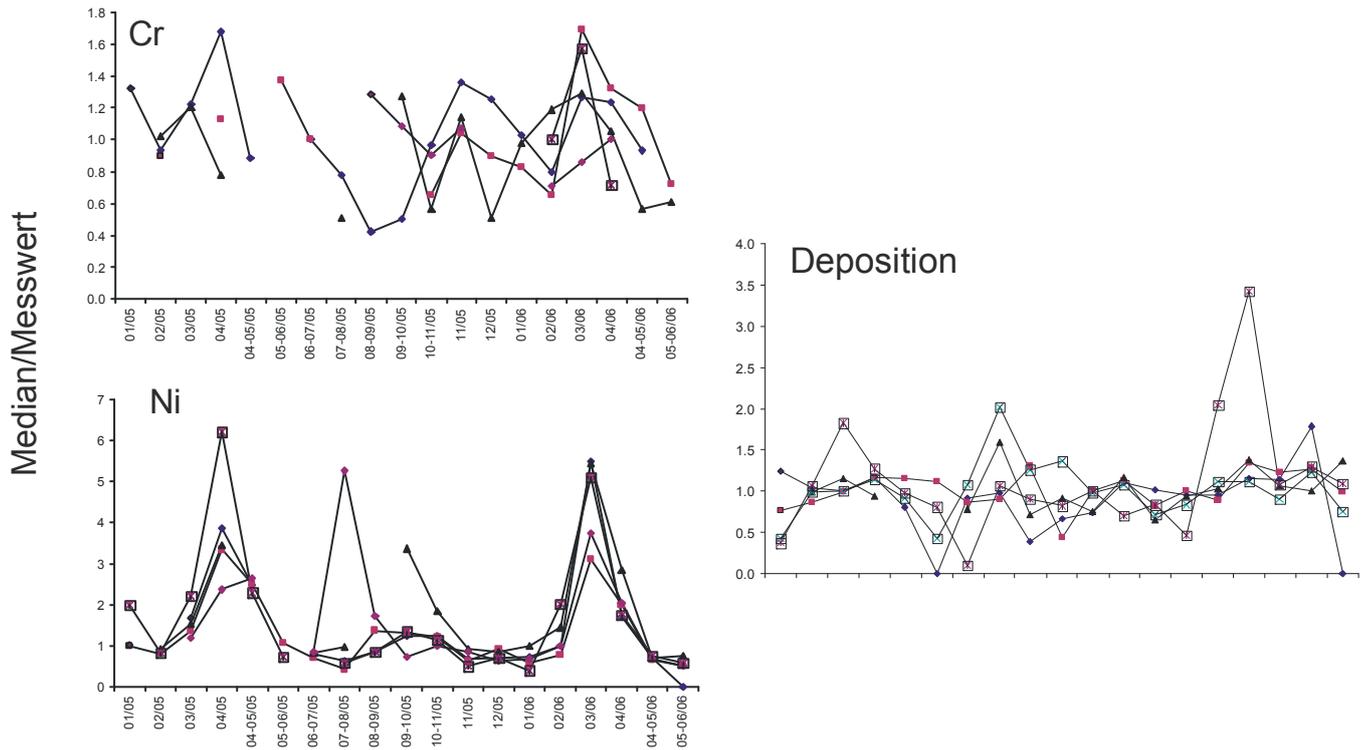


Abb. 26: An- bzw. Abreicherung der Medianwerte von Cr, Ni und Deposition aller Donawitzer Messstationen im Zeitraum Jänner 2005 bis Juni 2006 (Daten aus der steirischen Luftgüteüberwachung), Rantitsch in Reinhofer et. al. (2007)

Die Staubbelastung wirkt sich nach Rantitsch in Reinhofer et. al. (2007) auf das Stadtgebiet von Leoben aus.

7.3 Wasser

Die Schwermetallfracht ist im zulaufenden Wasser zum Großteil an Partikel $>0,2 \mu\text{m}$ gebunden (s. Abb. 24). Aufgrund der zu Beginn des Projektes gewählten Beprobungsmethode, die nur die gelöste Fraktion $<0,2 \mu\text{m}$ erfasst, kann die zeitliche Dynamik des Schwermetalleintrages im Wasser so nicht erkannt werden. Dennoch zeigt sich, dass die Schwermetallkonzentration im Wasser wesentlich von der Zuflussmenge abhängt. Bei erhöhten Zuflussraten (bei Starkregen oder Schneeschmelzereignissen) werden in Summe höhere Schwermetallmengen in die Kläranlage eingebracht (s. Abb. 29). Schlamm, der im Kanalnetz sedimentiert und somit zwischengelagert wird, kann bei höheren Durchflussraten mobilisiert werden. Die Annahme, dass Regen das Abwasser hinsichtlich der Schwermetallkonzentrationen verdünnt, kann nur für länger andauernde Regenereignisse gelten. Auch das teilweise realisierte Trennkanalsystem steht einer starken Verdünnung des Zuflusses entgegen.

Die Zulauf-Proben aus dem März und Juni 2006 unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung. Dabei bleibt die Elementpartitionierung jedoch annähernd gleich (s. Abb. 24). Chrom und Blei werden fast gänzlich ($>90\%$) partikulär in die Kläranlage eingetragen. Als nächste Gruppe kann Kupfer und Zink mit einem Anteil von mehr als 80% ungelöster Partikeln angesehen werden. Nickel hingegen löst sich leichter, aber auch für dieses Element gilt, dass der mehrheitliche Anteil der Konzentration ($>60\%$) von Partikeln $>0,2 \mu\text{m}$ getragen wird.

Nach Karvelas et al. (2003) sind die Nickel und Zink Gehalte hauptsächlich von wasserlöslichen, austauschbaren und karbonatgebundenen Anteilen, Chrom und Kupfer von organischen Bestandteilen und Sulfiden, Blei, Zink und Nickel von Eisen- und Manganoxiden bzw. -hydroxiden getragen.

Zum Unterschied zur Kläranlage Leoben wurde bei dieser Studie Nickel hauptsächlich in gelöster Form eingetragen.

Die Zusammensetzung der Ablaufproben unterscheidet sich im Vergleich der beiden Beprobungsphasen deutlich voneinander, wobei festzuhalten ist, dass im Juni Tagesmischproben untersucht wurden und das an vier Probenahmetagen keine Partikel $>0,2 \mu\text{m}$ im Ablauf feststellbar waren.

Anhand der Intensivbeprobung des Zu- und Ablaufs wurde versucht mehrere Tagesgänge im Zwei- bzw. Vierstunden-Rhythmus zu analysieren und zu interpretieren. Geht man vom Eintrag $<0,2 \mu\text{m}$ aus, so lässt sich mit Ausnahme von Chrom (Abb. 27) im Allgemeinen kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Tageszeit, Zulaufmenge und Konzentration feststellen.

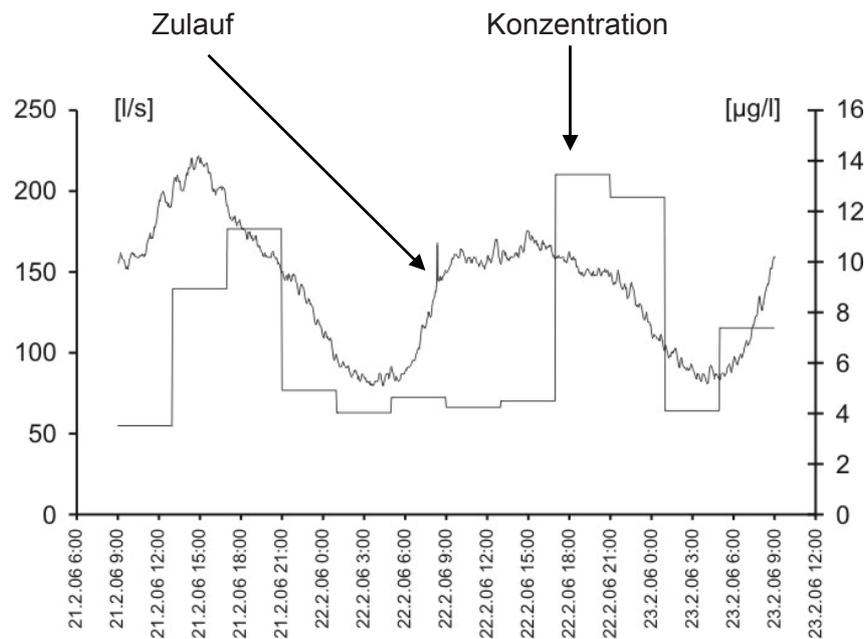


Abb. 27: Konzentration von Chrom in der Fraktion $<0,2 \mu\text{m}$ mit der Zulaufganglinie im Februar 2006

Proben des Filtrerrückstandes $>0,2 \mu\text{m}$, die im März 2006 gezogen wurden, zeigen, dass sie sowohl in ihrer Probenmenge (Abb. 28), als auch in ihrer Konzentration (Abb. 29) positiv mit der Zulaufmenge korrelieren. Ein stärkerer Zufluss zur Kläranlage führt, da im Kanalnetz weniger sedimentiert wird, und die sedimentierten Schlammteilchen wieder mobilisiert werden, zu einem höheren Schlammaufkommen.

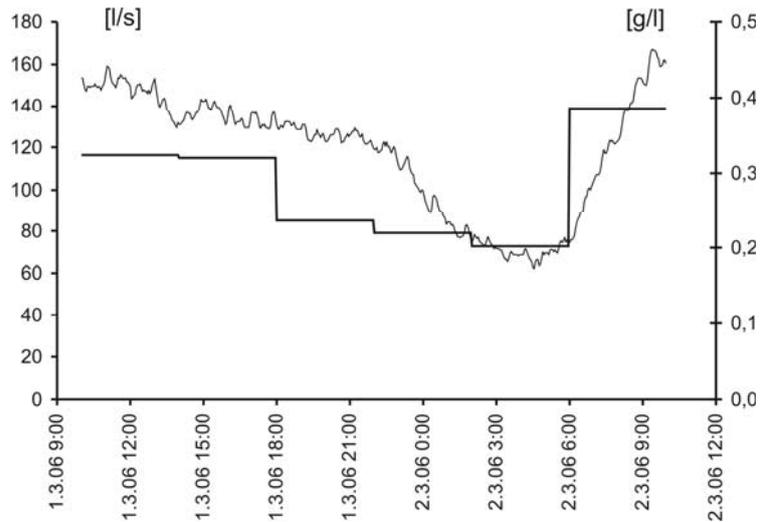


Abb. 28: Probenmenge Filtrerrückstand >0,2 µm mit der Zulaufganglinie im März 2006

Im Allgemeinen korrelieren die Zulaufmengen mit den Konzentrationen der Schwermetalle im Filtrerrückstand >0,2 µm positiv. Als Beispiele hierfür werden Kupfer und Zink gezeigt (Abb. 29), da sie in ihrer gelöster Form (<0,2 µm) keine Korrelation mit der Zulaufmenge zeigen.

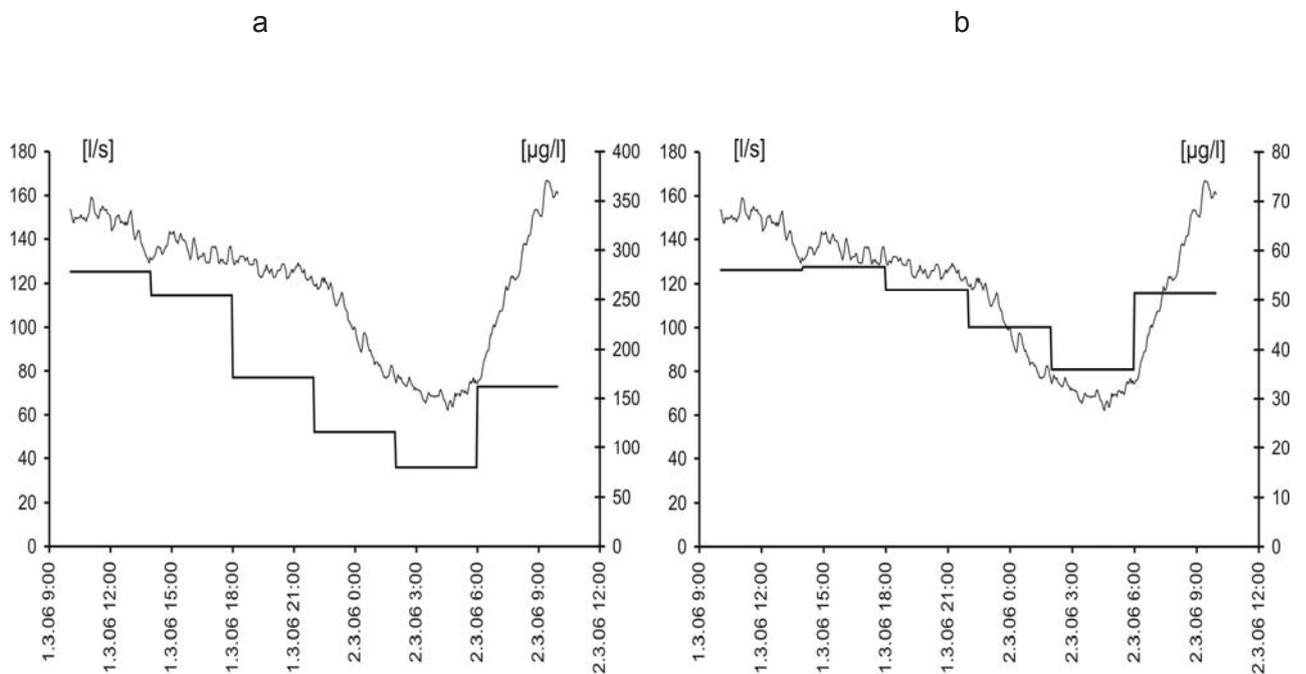


Abb. 29: Konzentration von Zink (a) und Kupfer (b) in der Fraktion >0,2 µm mit der Zulaufganglinie

In erster Linie sind die Konzentrationen und Mengen der zur Kläranlage transportierten Frachten von den Einleitern selbst, der zur Verfügung stehenden abwaschbaren Oberflächen (Eintrag von Staub und Streusplitt) sowie der Menge des Transportmediums abhängig. Um etwaige Verdünnungen oder Anreicherungen durch den erhöhten Zufluss bei Niederschlägen erfassen zu können, muss man die Zulaufdaten der Kläranlage mit dem Niederschlagsjahresgang in Leoben vergleichen. Dabei bietet sich eine Intensivbeprobung des Zulaufs während eines Regenereignisses an. Da es bei der Intensivbeprobung des Zulaufs nur einmal im Juni 2005 geregnet hat, aber in dieser Zeit keine Zuflussmengendaten aufgezeichnet wurden, müssen für diese Bewertung Tagesmischproben herangezogen werden.

Zur Ermittlung des Zusammenhangs der Durchflussmengen mit den gemessenen Konzentrationen ist es notwendig die Tage mit Niederschlägen zu identifizieren. Da schwache Niederschläge zu keiner beobachtbaren Verdünnung oder Anreicherung der Proben führen, muss zwischen einem starken und schwachen Niederschlagsereignis unterschieden werden. Die Tagesmischproben wurden von 07:00 bzw. 07:30 Uhr an genommen. Da nicht eindeutig erkennbar ist, wann und in welcher Menge diese Niederschläge die Kläranlage erreichen, müssen die Zulaufmengen der einzelnen Beprobungsphasen (Abb. 30) genauer betrachtet werden.

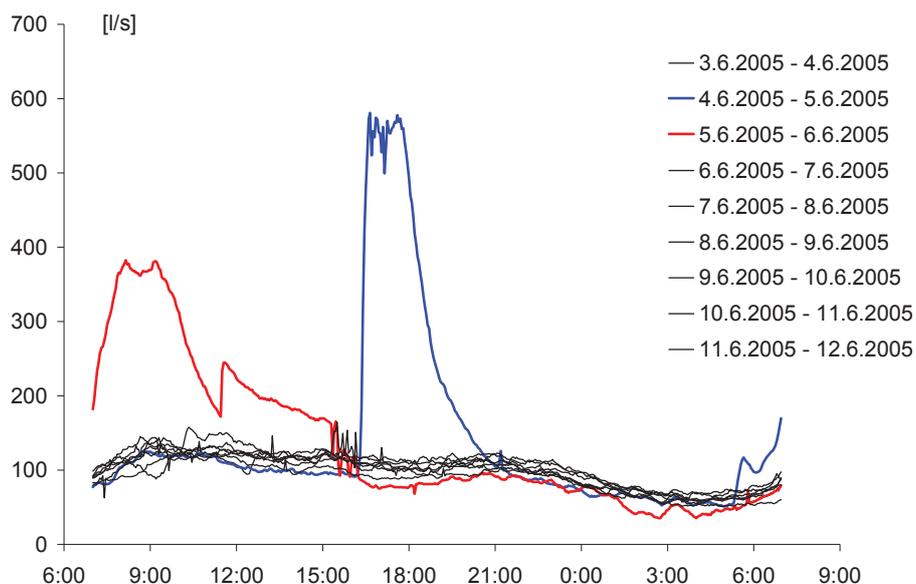


Abb. 30: Zulaufmengen im Juni 2005

In Abb. 31 sind eindeutig zwei Spitzen zu ermitteln. Somit können die zugehörigen Proben (Probe 4.6.2005–5.6.2005 und 5.6.2005–6.6.2005) vom Niederschlag beeinflusst sein und müssen in weiterer Folge bei der Gegenüberstellung von Konzentration und Durchflussmenge gesondert betrachtet werden. In den Beprobungen vom Oktober 05, sowie März 2006 gab es keine Niederschläge.

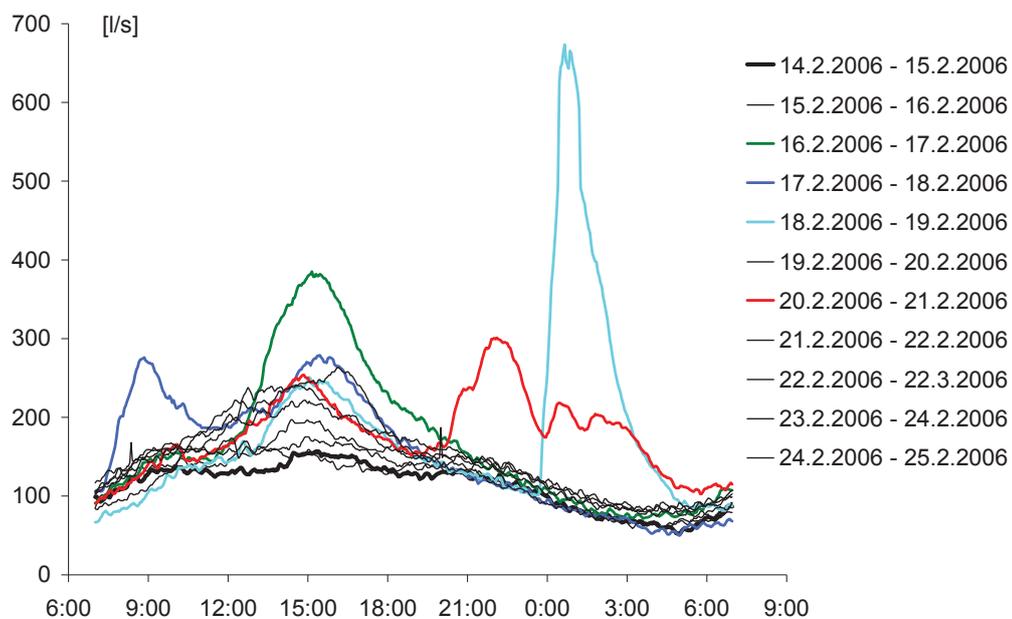


Abb. 31: Zulaufmengen im Februar 2006

Im Allgemeinen wurden im Februar 2006 (Abb. 31) höhere Zulaufmengen als im Oktober 2005, sowie April und Juni 2006 registriert. Aus diesem Grund werden in Abb. 31 der Temperaturverlauf sowie die Schneedecke in Leoben im Februar 2006 dargestellt.

In der Zeit vom 14. auf den 15. Februar lag die Durchschnittstemperatur im Tagesverlauf unter 0°C . Ab dem 15. Februar wurde ein deutlicher Temperaturanstieg auf durchgehend über 0°C im Tagesverlauf registriert (Abb. 32), der durch die damit verbundene Schneeschmelze (Abb. 32) zu einem stark gestiegenen Oberflächenabfluss und somit einem höheren Eintrag in die Kläranlage führte (Abb. 31).

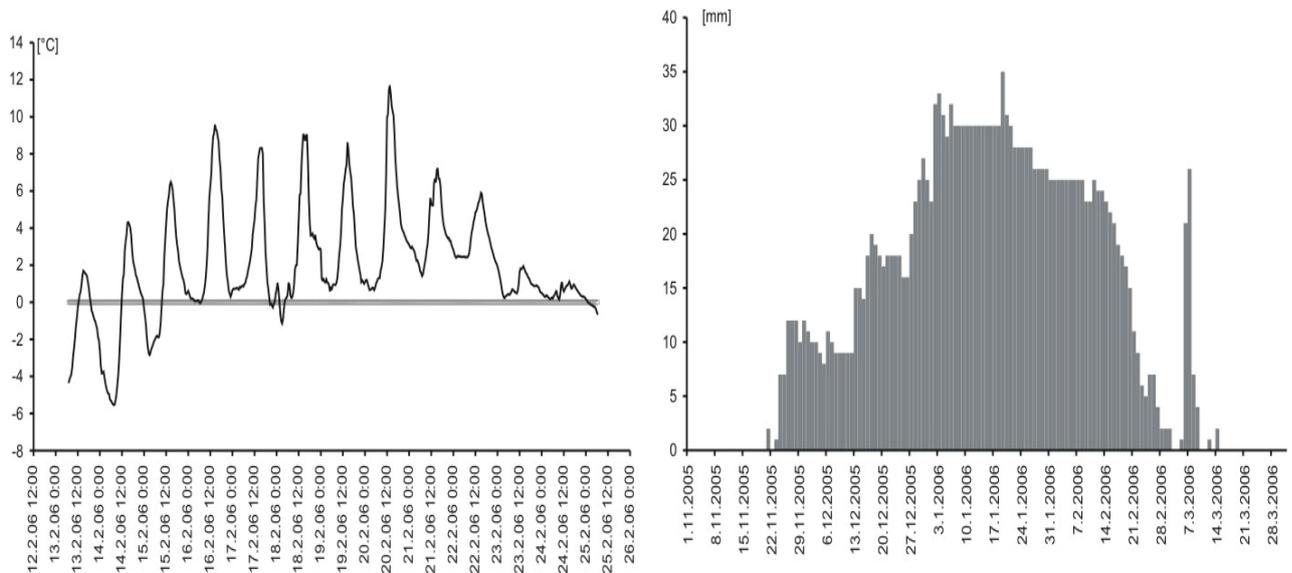


Abb. 32: Temperaturverlauf (links), Schneedecke (rechts) an der Messstelle Leoben/Hinterberg

In gleicher Art können erhöhte Zulaufmengen durch Niederschläge am 6., 18. und 19. bzw. 20. April 2006 registriert werden. Die Tagesmischprobe vom 19. auf den 20. April markiert dabei den höchsten in den Beprobungszeiträumen gemessenen Zufluss zur Kläranlage von 20392 m³.

Die Auswertung dieser Daten zeigt, dass die Konzentration von Chrom im Filtrat <0,2 µm mit der Durchflussmenge generell ansteigt (Abb. 33).

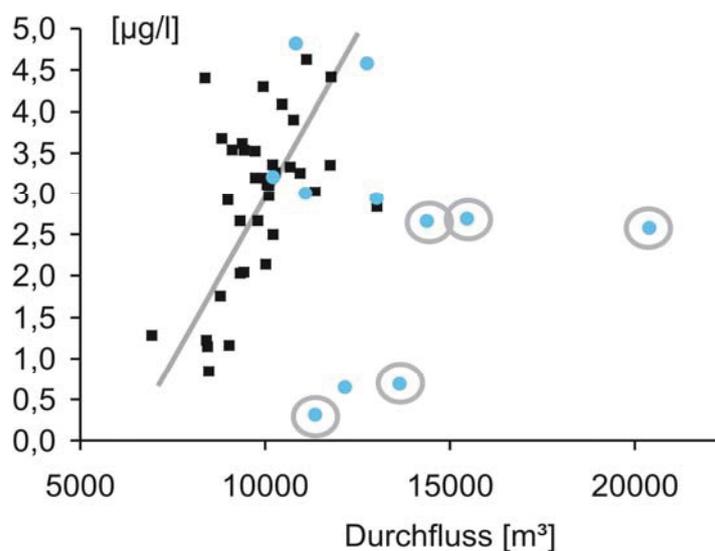


Abb. 33: Konzentration und Durchfluss (je Tag) für Chrom an trockenen Tagen und Regentagen (blau), Starkregenereignissen sind eingekreist

Für Nickel kann ein Basiswert von 5 µg/l für alle Beprobungszeiträume angegeben werden, der nur an vier Regentagen unterschritten wird (Abb. 34).

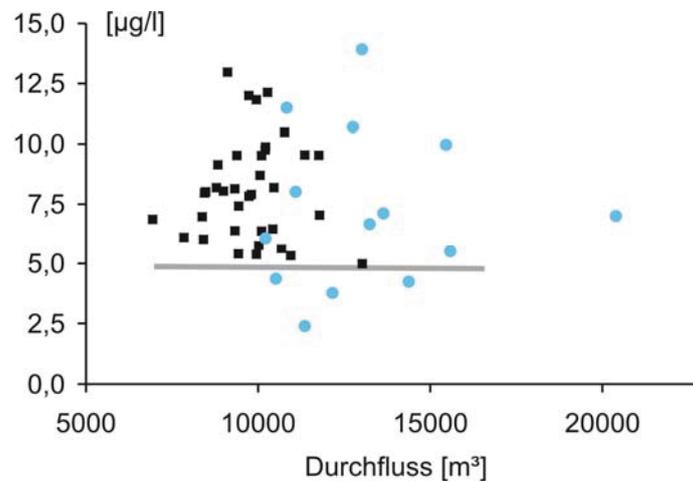


Abb. 34: Konzentration und Durchfluss für Nickel. Regentage sind blau dargestellt

Anhand Abb. 35 lässt sich keine Korrelation von Durchflussmenge und Konzentration von Kupfer und Zink ableiten. Vielmehr ist es so, dass die Verteilung der Konzentrationen von Zink und Kupfer gänzlich von der Durchflussmenge entkoppelt sind. Wasserleitungen könnten hier für die Konzentration des gelösten Anteils an Kupfer und Zink hauptverantwortlich sein.

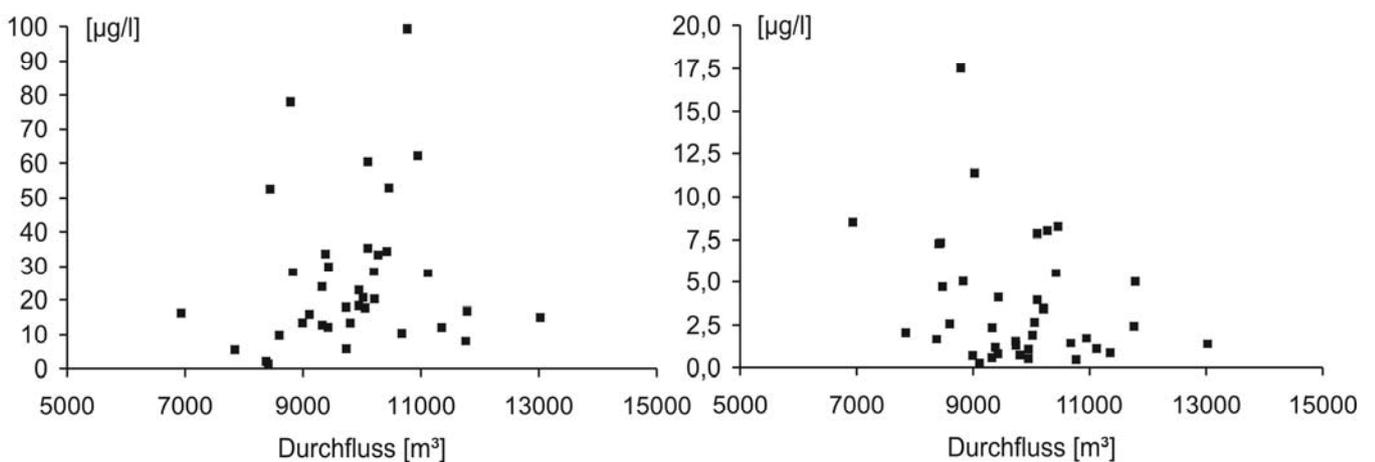


Abb. 35: Konzentration und Durchfluss für Zink (links) und Kupfer (rechts). Die Proben der Regentage wurden für diese Darstellung eliminiert

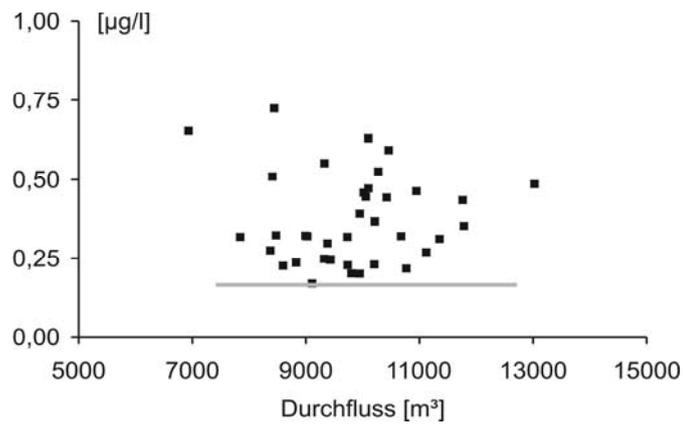


Abb. 36: Konzentration und Durchfluss für Blei

Für alle Probenahmephasen kann für Blei ein Basiswert von $<0,2 \mu\text{g/l}$ angegeben werden (Abb. 36). Allerdings muss beachtet werden, dass diese Darstellung nur 5 – 10% des tatsächlichen Eintrags von Blei entspricht.

In den beiden folgenden Abbildungen ist zu sehen, dass im gereinigten Wasser Chrom (Abb. 37), Nickel und Zink (Abb. 38) stark variieren. Für Nickel und Zink wurden diese Schwankungen nicht nur im Vergleich der unterschiedlichen Zeiträume zueinander, sondern auch innerhalb der Beprobungsphasen festgestellt. Ab Jahresbeginn 2006 erreichen die Chrom-Konzentrationen im Filtrat $<0,2 \mu\text{m}$ des Ablaufes höhere Werte als im Zulauf (Abb. 37). Dies spricht für einen Lösungsprozess innerhalb der Kläranlage oder eine Kontaminierung durch Zuschlagstoffe.

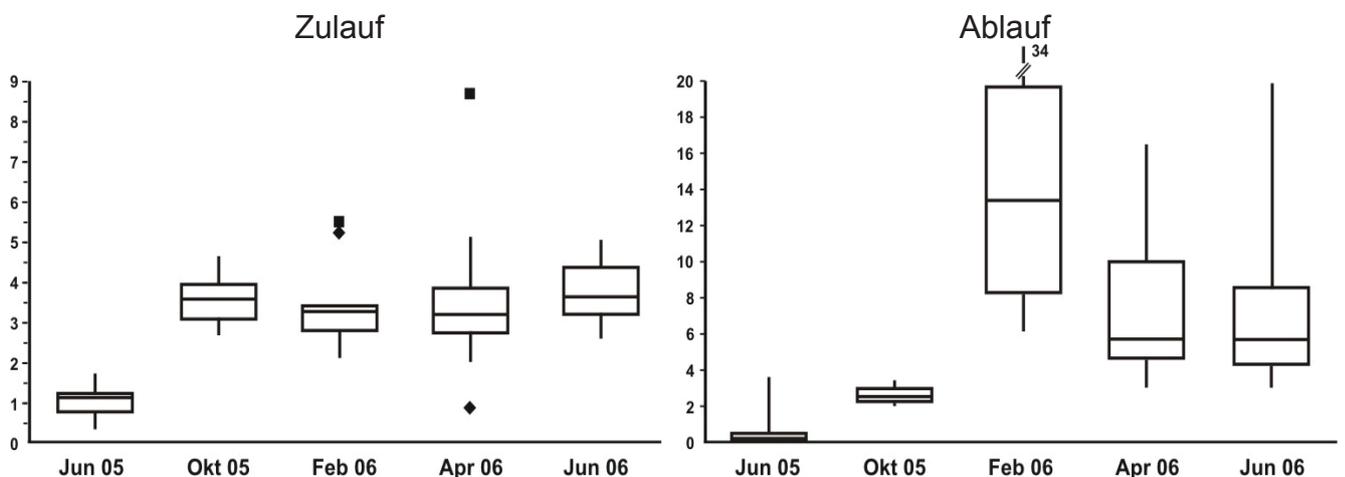


Abb. 37: Chromwerte $[\mu\text{g/l}]$ im zufließenden (Zulauf) und gereinigten Wasser (Ablauf), man beachte die unterschiedliche Skalierung in der Abbildung

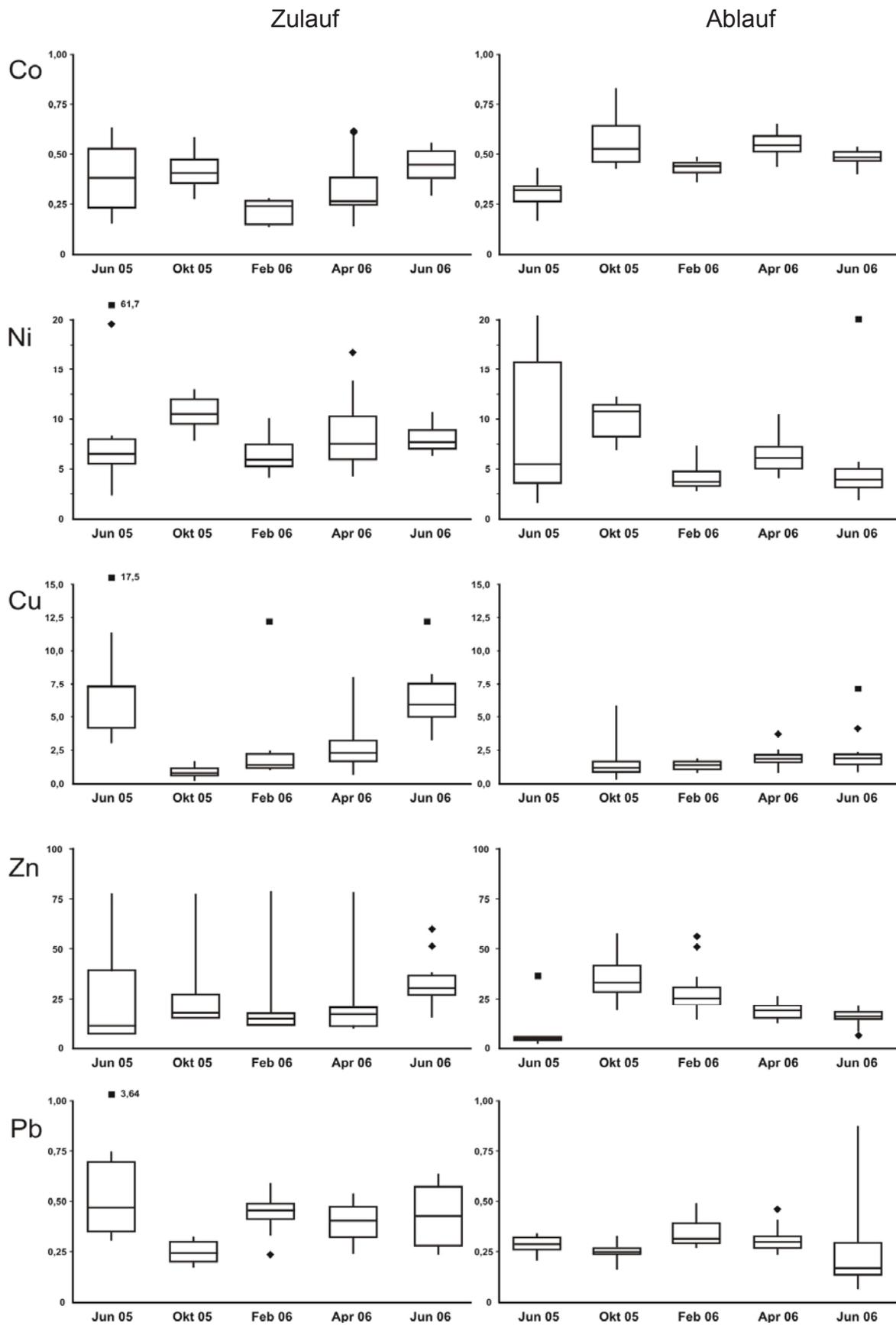


Abb. 38: Elementwerte [µg/l] im zufließenden (Zulauf) und gereinigten Wasser (Ablauf)

7.4 Klärschlamm

Zur Dateninterpretation können Zeitreihen der Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm dargestellt werden (Abb. 39.). Bei Chrom und Nickel sind ab Ende November 2005 abfallende Werte zu beobachten, die ab Ende Februar bis März 2006 ansteigen und im Mai 2006 Spitzenwerte erreichen (Abb. 39). Dies korreliert mit der gemessenen magnetischen Suszeptibilität (Herr, 2007). Die magnetische Suszeptibilität ist die Magnetisierbarkeit von Materie in einem externen Magnetfeld. Die Massensuszeptibilität ist die Suszeptibilität bezogen auf die Dichte.

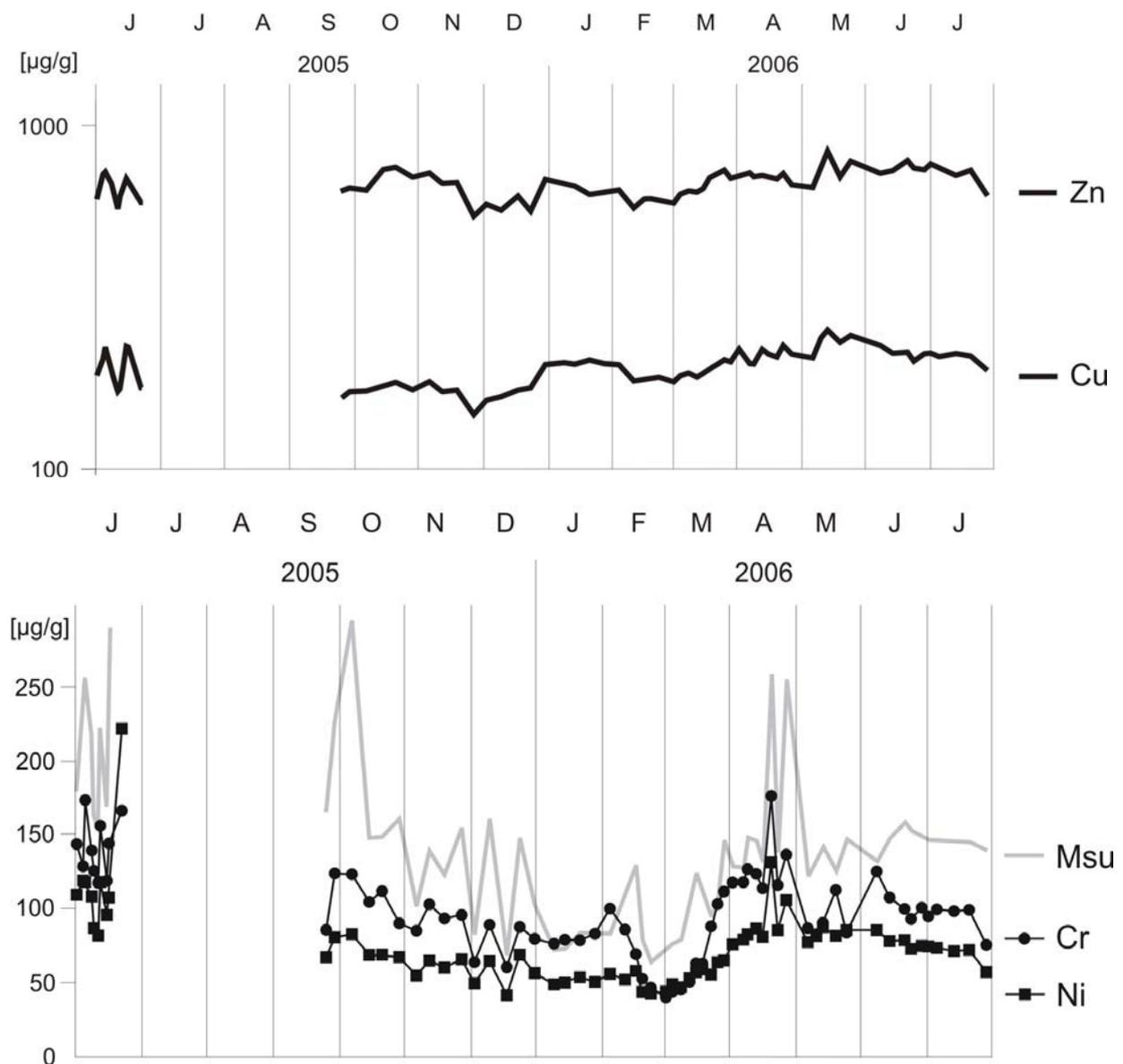


Abb. 39: Cu, Zn, Ni, Cr, Msu (massenbezogene magnetische Suszeptibilität aus Herr, 2007) – Zeitreihen im Klärschlamm

Das Tief Ende Februar bis Anfang März 2006 könnte mit der Schneeschmelze ab Mitte Februar korreliert werden (s. Abb. 32). Dabei muss beachtet werden, dass Veränderungen im Zulauf der Kläranlage erst mit einmonatiger Verzögerung im Klärschlamm registriert werden. In diesem Modell wirken Schnee und Eis als Speicher des Staubs und Streusplitts. Die Spitzen im April können durch den Einsatz von Kehrmaschinen und den dadurch bedingte vermehrte Eintrag des Feinstaubes und des Streuspiltstaubs oder durch die Zugabe von Substraten (Lederspäne) beim Faulungsprozess erklärt werden. Bis auf die Monate Jänner bis März korreliert die magnetische Suszeptibilität über weite Bereiche gut mit den Chrom und Nickel-Werten (Abb. 39). Dies könnte ein weiteres Indiz für die Einbringung von Streusplitt und stark magnetisierbaren technogenen Partikel darstellen. Aus diesem Grund wurden einige ausgewählte Klärschlammproben mittels Röntgenfluoreszenzanalyse und Röntgendiffraktometrie untersucht.

7.4.1 Röntgenfluoreszenzanalysen an Klär- und Fremdschlämmen

Durch Röntgenfluoreszenzanalysen wurden die Hauptelemente einer Monatstichprobe Leobner Klärschlamm und jeweils eine Probe der Fremdschlämme gemessen (s. Abb. 18 und 19). Die höchsten Werte wurden im Leobner Klärschlamm bei CaO, SiO₂, Al₂O₃ und Fe₂O₃ erreicht.

Die hohen Werte für Al₂O₃ können mit der Zugabe von Aluminium-Produkten zur Phosphatfällung innerhalb des Leobner Kläranlagenprozesses erklärt werden. Ansonsten könnten durchaus auch Tonminerale und Feldspäte an den Al-Gehalten beteiligt sein.

Die hohen Anteile an CaO werden nach Obernberger & Supancic (2007) mit der Zugabe von Kalk bei der Konditionierung des Klärschlammes erklärt. In kleineren Kläranlagen werden häufig Kammerfilterpressen zur Entwässerung des Klärschlammes verwendet. Je nach Qualität des Klärschlammes werden vor der Entwässerung 10 bis 15 % Kalk zugegeben. Dementsprechend hoch sind dann nach Obernberger & Supancic (2007) die Calcium-Gehalte in derart behandelten Klärschlamm. Nach Auskunft der Kläranlagenwärter wurde in der Kläranlage Leoben im Beprobungszeitraum jedoch kein Kalk beigemischt. Als Flockungsmittel wird vor der

Bandpresse ein Polymer beigemischt. Somit können diese hohen Calcium-Gehalte durch die Übernahme von Fremdschlämmen sowie durch das Einzugsgebiet (Kanalisation) in die Kläranlage eingebracht werden. Aufgrund der Röntgenfluoreszenzanalysen der Fremdschlämme konnte eindeutig nachgewiesen werden (vgl. Abb. 20), dass die Anlage Aflenz Kalk zur Schlammkonditionierung einsetzt. Die Calcium-Gehalte in den Proben aus St. Lorenzen, Mautern und Göss sind hingegen nicht auffallend. Die Calcium-Gehalte der Leobner Kläranlage befinden sich im Mittel der Untersuchungsergebnisse von Obernberger & Supancic (2007). Somit kann aufgrund der geringen Beteiligung des Fremdschlammes aus Aflenz am Gesamtschlammaufkommen die hohen Calcium-Gehalte mit der Beimengung von Kalk im Zuge des Kläranlagenprozesses auch so nicht erklärt werden. Offenbar werden sie überwiegend über das direkte Einzugsgebiet der Kläranlage eingebracht.

Die hohen Silizium-Gehalte von meist über 9 % in der Trockensubstanz können nach derzeitigem Wissenstand nur über den Eintrag von Silikaten erklärt werden.

Die überdurchschnittlichen Fe_2O_3 -Gehalte (vgl. Abb. 20) der analysierten Probe aus Mautern im Vergleich zu den Fremdschlämmen aus St. Lorenzen und Aflenz werden durch Zugabe von Fe(III)-Produkten hervorgerufen (Auskunft Kläranlage Mautern, Telefonat vom April 2008).

Die Schlämme aus St. Lorenzen unterscheiden sich von den Fremdschlämmen aus Mautern und Aflenz durch den hohen Al_2O_3 -Gehalt in den geglühten Proben. Anzunehmen ist die Beigabe von Al-Produkten zur Phosphatfällung.

Die Hauptelementgehalte der Probe Göss spiegeln die Zusammensetzung des Schlammes, der im Zuge des Brauereiprozesses anfällt wieder. Auffallend hoch ist der Silizium-Anteil.

Das Vorkommen von Gesteinspartikeln im Klärschlamm und somit der Nachweis einer etwaigen Beteiligung des eingesetzten Streusplitts an den kritischen Nickel- und Chrom-Gehalten, soll hier mit röntgendiffraktometrischen Untersuchungen erfolgen.

7.4.2 Röntgendiffraktometrische Untersuchungen an Klärschlämmen

Aus drei Leobner Klärschlämmen wurde ein getrocknetes, analysefein gemahlenes, ansonsten unbehandeltes, strukturloses Präparat angefertigt. Die Klärschlämme wurden aufgrund der Daten der Zeitreihe ausgewählt. Ziel war es, den Mineralbestand zu bestimmen und die Verwendung des Chrom- und Nickel-belasteten Streusplitts nachzuweisen. Die Chrom- und Nickel-Gehalte lagen im März im Jahresdurchschnitt, im Februar aufgrund der Schneedecke am Jahrestiefstpunkt und im April (Staubbelastung) am höchsten (Abb. 39).

Während im Februar noch Feldspäte vorhanden waren, fehlen sie im März gänzlich und sind im April geringfügig vorhanden. Calcit hingegen ist konstant vorhanden. Quarz dominiert im April. Dolomit ist durchgehend in geringfügigen Mengen vorhanden. In der Probe vom März ist Brushit ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) zu erkennen (s. Abb. 21), welcher sich wahrscheinlich im Kläranlagenprozess durch die Phosphatfällung bildete.

Probe	Illit	Brushit	Quarz	Calcit	Dolomit	Feldspäte (Alb/An)	Cu/Zn	Fe/Cr/Ni
KS 090206	x	o	x	xx	-	x	-	x
KS 030306	o	xx	-	xx	-	o	-	x
KS 250406	-	x	xxx	xx	-	-	-	x

Tab. 24: Untersuchungsergebnisse der Röntgendiffraktometrie, die einzelnen Minerale werden nach ihrer Intensität mit xxx für dominierend, mit xx für häufig, mit x für vorkommend, mit - für wenig und mit o für fehlend gekennzeichnet.

Quarz ist in seiner chemischen Zusammensetzung eine reine Verbindung und baut andere Elemente nur in Spuren ins Kristallgitter ein. Quarz und Calcit können im Allgemeinen fremde Ionen (Al, Na, K, Fe, Ti, Li, Cu, Ni, Zn, Pb etc.) enthalten. Bei Calcit sind nur zwei chromhaltige Mineralphasen (Barbertonit, Petterdit) bekannt. Diese konnten nicht nachgewiesen werden. Aufgrund der hohen Ionenaustauschkapazität von Tonmineralen, können unter Umständen Illite große Mengen an Schwermetallen enthalten. Der geringe Illit- und Feldspatgehalt in der Probe vom 25. April 2006 (Abb. 21 c), welche sehr hohe Werte an Chrom und Nickel aufweist, schließt Illit und Feldspäte als Träger der Schwermetalle aus. Es konnte in keiner Probe Minerale ultramafischer Gesteine wie in etwa Pyroxen, Olivin (Fayalit, Forsterit),

Amphibol, Hornblende, Serpentin festgestellt werden, die auf eine Beteiligung des Preger Streusplitts hinweisen würden.

Elementar vorliegende Elemente wie Eisen, Chrom und Nickel, Zink und Kupfer haben ihre diagnostischen Peaks bei 2,04 bzw. 2,09 Å. Herr (2007) beschreibt aufgrund von Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskop, dass die magnetische Fraktion im Klärschlamm annähernd zur Gänze aus technogenen Partikel bestehen. Metallisches Eisen und Chrom/Nickel-Legierungen kommen demnach als Nebenbestandteile vor. Das Vorkommen von Zunder wird unter anderem beschrieben. Zunder ist der Abbrand auf Metalloberflächen, der unter Einwirkung von Sauerstoff und anderen oxidierenden Gasen bei hoher Temperatur entsteht.

	Fe	Cr	Ni	Mn	Cu	Zn
d - Wert	2,03	2,04	2,03	2,10	2,09	2,09
2θ Winkel	44,7	44,4	44,5	43,0	43,2	43,2
Vorkommen	xxx	xx	xx	o	x	x

Tab. 25: Auswertung Röntgendiffraktogramm bzgl. in Legierungen und in elementarer Form vorliegende Metalle, die einzelnen Peaks werden mit xxx für dominierend, xx für häufig vorkommend, x für vorkommend und o für fehlend gekennzeichnet.

Fe tritt mit durchschnittlich 2,8 % und konstant (s. Appendix, umgerechnet aus Tab 14, 15, 16 und 17), Chrom mit 99 ppm (s. Abb. 39) und wie Nickel mit 75 ppm (s. Abb. 39) unter periodischen Schwankungen im getrockneten Klärschlamm auf. Die Peaks erreiche wie die Chrom- und Nickel-Gehalte im April zur Zeit des vermehrten Staubeintrages die höchste Intensität (s Abb. 21).

Zur Phosphatfällung werden in der Leobner Kläranlage Aluminiumprodukte eingesetzt. Das spiegelt sich im hohen Al-Anteil von 2,6 % im getrockneten Klärschlamm (s. Tab. 15, Appendix). Mit gelösten Calcium-Ionen kann Calcium-Phosphat, Brushit, gefällt werden. Die Phosphatfällung ist eine Reaktion, bei der die Phosphate im Allgemeinen mit Salzen dreiwertiger Metalle ausgefällt werden. Dabei verwendet man toxisch unbedenkliche Eisen(III)- (in Alflenz) und Aluminiumsalze. Positiv geladene Metallionen reagieren mit negativen Phosphationen unter Bildung von schwer löslichem Metallphosphat.

7.5 Sequentielle Extraktion

Zur Einschätzung des Mobilisierungsverhaltens von Schwermetallionen aus Klärschlämmen sind sequentielle chemische Extraktionsverfahren mit einer definierten Abfolge von Behandlungsschritten notwendig, bei denen die chemischen Bedingungen durch Variation des pH-Wertes bzw. Einsatz von Reagenzien mit unterschiedlichen reduzierenden oder oxidierenden Eigenschaften zunehmend verschärft werden.

Die Kenntnis dieses Mobilisierungsverhaltens lässt Rückschlüsse auf die Bioverfügbarkeit der Schwermetalle und somit auf das ökotoxische Potential von kontaminierten Klärschlämmen für Mensch und Umwelt zu. (Runge et. al., 2006)

Bei allen untersuchten Klärschlämmen (s. Abb. 25) ist Chrom und Nickel überwiegend mäßig reduzierbar bzw. residual gebunden, während Kupfer hauptsächlich mäßig reduzierbar bzw. oxidierbar und Blei größtenteils oxidierbar bzw. residual gebunden ist. Zink ist überwiegend karbonatisch bzw. mäßig reduzierbar gebunden. (Runge et. al., 2006)

Hinsichtlich des von den Klärschlämmen ausgehenden Gefahrenpotentials ist Zink als am kritischsten zu bewerten, da es am leichtesten aus den Klärschlämmen mobilisiert wird, gefolgt von Kupfer und Nickel. Chrom und Blei hingegen sind zu ca. 60% residual gebunden und besitzen in den untersuchten Klärschlämmen daher keine große Bioverfügbarkeit. (Runge et. al., 2006)

8 Schlussfolgerungen

Der Leobner Klärschlamm zeigt nach Analysen der Klärschlammproben der Jahre 2005 und 2006 im regionalen Vergleich zu steirischen Klärschlämmen der Jahre 1996 - 2005 (Oberberger & Supancic, 2007) höhere Konzentrationen an Chrom und Nickel. Kupfer, Kobalt, Cadmium, Quecksilber und Zink erscheinen als nicht auffällig.

Es sind deswegen lokale Faktoren, die den erhöhten Schwermetalleintrag hinsichtlich der Chrom- und Nickel-Gehalte steuern, anzunehmen. Nach Reinhofer et. al. (2007) ergeben sich für die Leobner Kläranlage der Feinstaub, der Donawitzer Industriestaub (Hochofen, Walzwerk, Gießerei der Vöstalpine Stahl Donawitz), der kommunale Eintrag, der industrielle Eintrag (AT&S, VÖST) sowie der Preger Streusplitt als potenzielle Kandidaten für die erhöhten Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm und Kompost.

Die Zeitreihe der Leobner Klärschlammanalysen zeigt ein Minimum im Februar und März 2006. Eis und Schnee wirken als Zwischenspeicher der an Schwermetallen angereicherten Partikel. Diese werden dann im Zuge der Schneeschmelze in die Kläranlage vermehrt eingetragen. Die Messung der magnetischen Suszeptibilität im Klärschlamm bietet entscheidende Erkenntnisse über die Beteiligung magnetischer Metallpartikel in den beprobten Medien (Herr, 2007). Aufgrund der beobachteten Korrelation der Suszeptibilität mit bestimmten Metallkonzentrationen (s. Abb. 39) und der Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie (s. Abb. 21 und Tab. 25) kann damit ein Bezug zwischen der Schwermetallanreicherung und der Beteiligung technogener Metallphasen hergestellt werden. Die nichtmagnetischen Anteile in den Proben können allerdings durch diese Methode nicht erfasst werden. Aufgrund des mikroskopischen Befundes schließt Herr (2007) für die erste Beprobungsphase (ab Juni 2005) die Beteiligung geogener Partikel weitestgehend aus.

Wenn man einige Gramm einer Klärschlammprobe auf ein Blatt Papier verteilt, werden bereits unter Bewegung eines schwachen Magneten auf der Blattunterseite einige dieser nadeligen magnetischen Metallpartikel sichtbar und können abgetrennt werden. Bei diesem Versuch ergaben sich nach makroskopischer Beurteilung mengenmäßig nur geringe Unterschiede in saisonal unterschiedlichen Proben. In allen Proben waren metallisch glänzende Späne mit einer Länge von $>0,5$ mm sichtbar.

Anhand des Mineralienbestands der Röntgendiffraktogramme (Tab. 24) in Verbindung mit den Daten der Röntgenfluoreszenzanalysen (s. Appendix Tab. 15) kann eine Beteiligung des geogenen Hintergrunds (Feldspäte, Quarz, Illit, Calcit, Dolomit) sowie des Streusplitts an den erhöhten Chrom- und Nickel-Gehalten nicht nachgewiesen werden. Dies widerspricht der Bilanzierung der Stoffflüsse (Diebold in Reinhofer et. al., 2007) zur Kläranlage (s. Abb. 6 und Abb. 7) vor allem für Chrom und Nickel.

Offenbar ist der geogene Eintrag sowie der Eintrag des im Zuge des Winterdiensts aufgebrauchten Streusplitts als so gering einzustufen, dass sie als maßgebliche Eintragsquellen von Schwermetallen auszuschließen sind. Somit muss die Bilanzierung der eingebrachten Chrom und Nickelfrachten in Richtung der unsicheren Quellen wie der des kommunalen Eintrags und oder des Fein- und Industriestaubs verschoben werden (vgl. Abb. 6 - 9). Ein durchgehend gleich bleibender industrieller Eintrag der Indirekteinleiter (AT&S, VOEST) ist aufgrund des Schichtbetriebes anzunehmen. Der kommunale Eintrag (vzgl. Haushaltsabwässer) kann in Leoben saisonalen Schwankungen aufgrund von nichtständigen Einwohnern, Urlaub, Tourismus und Veranstaltungen, Wirtschaft, Bauwesen etc. unterlegen sein. Da die kommunalen Einträge in den Literaturwerten die höchsten Schwankungsbreiten aufweisen, wurden sie bei der Erstellung der Gesamtbilanzen von Diebold in Reinhofer et. al. (2007) bereits bevorzugt berichtet.

Röntgendiffraktometrische, mikro- wie auch makroskopische Untersuchungen bzw. Beobachtungen weisen darauf hin, dass der Industriestaub in Verbindung mit den saisonal-klimatischen Gegebenheiten die Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm entscheidend beeinflusst.

LITERATURVERZEICHNIS

- Cadle, S.H., Williams, R.L. (1980):** Environmental degradation of tire wear particles. Rubber Chem. Technol. 53: 903-914.
- Ebner, F., Prohaska, W., (2001):** Die Magnesitlagerstätte Sunk/Hohentauern und ihr geologischer Rahmen. Joannea Geol. Paläont 3: 63-103.
- Flügel, H. W., Neubauer F. (1984):** Geologische Karte der Steiermark 1:200.000. Wien.
- Fritzer, H. (1992):** Gewässerbelastung durch Straßenabflüsse, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten. Straßenforschung, Heft 406, Wien.
- Gruber, W. Sachsenhofer R.F., (2001):** Coal deposition in the Noric Depression (Eastern Alps): raised and low-lying mires in Miocene pull-apart basins.- Int. J. Coal Geol. 48, 89-114.
- Gruber, W., Sachsenhofer, R.F., Kofler, N., Decker K., (2004):** The architecture of the Trofaiach pull-apart basin (Eastern Alps): An integrated geophysical and structural study. Geologica Carpatica, 55, 281-298, Bratislava.
- Haditsch, J.G., Petersen-Kraus, D., Yamac, Y. (1981):** Beiträge für eine geologisch-lagerstättenkundliche Beurteilung hinsichtlich einer hydrometallurgischen Verwertung der Kraubather Ultramafitmasse. Mitteilungen der Abteilung für Geologie, Paläontologie und Bergbau am Landesmuseum Joanneum, Heft 42 Themenheft Steirische Rohstoffreserven, Band 2. Graz.
- Hanesch, M., Scholger, R., Rey, D. (2003):** Mapping dust distribution around an industrial site by measuring magnetic parameters of tree leaves. Atmospheric Environment 37, 5125-5133, Elsevier, Amsterdam.

Herr, E. (2007): Magnetische Charakterisierung von Prozessstoffen der Klärschlammkompostierung des Reinhaltungsverbandes Leoben. Diplomarbeit an der Montanuniversität Leoben, 118 S.

Karvelas, M., Katsoyiannis, A., Samara, C. (2003): Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process. *Chemosphere* 53, 1201–1210.

Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark Rechtsabteilung 8 (1999): Bodenschutzbericht 1999, Potentielle Kontaminationsflächen in der Steiermark. 103 S, Graz.

Melcher, F., Meisel, T., Puhl, J., Koller, F. (2002): Petrogenesis and geotectonic setting of ultramafic rocks in the Eastern Alps: constraints from geochemistry. *Lithos*, 65, 69–112.

Neubauer, F., Handler, R., Hermann, S., Paulus, G. (1994): Revised lithostratigraphy and structure of the eastern Greywacke Zone (Eastern Alps). – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, 86, 61 – 74, Wien.

Obernberger, I., Supancic, K. (2007): Untersuchung der Stoffflüsse und sinnvollen Verwertung von sowie Reststoffnutzung aus Klärschlamm in der Steiermark – Endbericht. Amt der Steiermärkischen Landesregierung Fachabteilung 19D, 146 S Graz.

Prinz, D., Unger, H-J. (1992): Verkehrsbedingte Immissionen in Baden-Württemberg Schwermetalle und organische Fremdstoffe in straßennahen Böden und Aufwuchs - Institut für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe Abt. Kulturtechnik. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und der Landesanstalt für Umweltschutz. Baden-Württemberg, Heft 19.

Rantitsch, G., Gaisberger, E., Scholger, R., Windisch, T., Runge, B., Meisel, T., Prochaska, W., Gratzner, R. (2008): Origin and fate of heavy metals in an urban area (Leoben, Austria) as traced by chemical and magnetic investigations of sewage sludge and water. 33th International Geological Congress, Oslo, in press.

Reinhofer, M. , Diebold, W., Rantitsch, G. (2003): IVUS – Identifikation vermeidbarer und unvermeidbarer Schadstoffquellen am Beispiel der Kläranlage Leoben – Vorprojekt. Joanneum Research. Graz.

Reinhofer M., Diebold, W., Gössler, W., Rantitsch G., Scholger, R. (2007): “IVUS – Identifikation vermeidbarer und unvermeidbarer Schadstoffquellen am Beispiel der Kläranlage Leoben und ihres Einzugsgebietes. Umwelttage Leoben 2007, 4 S.

Reinhofer, M., Diebold, W., Gössler, W., Mucic, D., Rantitsch, G., Windisch, T., Scholger, R., Herr, E. (2007): Identifikation vermeidbarer und unvermeidbarer Schadstoffquellen am Beispiel der Kläranlage Leoben und ihres Einzugsgebietes - Endbericht 2007. 244 S, Leoben.

Reinhalteverband Leoben (undatierte Broschüre a): Regional Kläranlage Leoben – Spatenstich 1980.

Reinhalteverband Leoben (undatierte Broschüre b): Ein Element im Gleichgewicht.

Runge, B., Windisch, T., Iglesias Sesma, B. (2006): Vergleich zweier sequentieller chemischer Extraktionsverfahren an Klärschlamm. Analytica Conference 2006, München.

Runge, B., Windisch, T., Meisel, T. (2007): Sequentielle chemische Extraktion von Chrom und Nickel an Klärschlamm der Kläranlage Leoben/A. Anakon 2007, Jena.

Schönlaub, H.P. (1979): Das Paläozoikum in Österreich. – Abh. Geol. B.-A., 33, 124 S., Wien.

Schönlaub, H.P. (1980): Die Grauwackenzone. – In: Oberhauser, R. (ed.): Der geologische Aufbau Österreichs, 356 – 358 Springer, Wien.

Schönlaub, H.P., Heinisch, H. (1993): The Classic Fossiliferous Units of the Eastern and Southern Alps. – In: Raumer, J.f., v. & Neubauer, F. (eds.): Pre-Mesozoic Geology in the Alps, 395 – 422, Springer, Berlin.

Semmelrock, G. (2004): Messung der Staub- und Schwermetalldeposition in Niklasdorf-Leoben-Donawitz 1997 bis 2002. LU 05-04 Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.

Stadtgemeinde Leoben (undatierte Broschüre): Pluspunkte für den Umweltschutz.

Tollmann, A. (1977): Geologie von Österreich, Bd.I: Die Zentralalpen. – 765 S., Deuticke, Wien.

Tukey, J.W. (1977): Exploratory data analysis. Addison-Wesley, Reading, Mass., 503 pp.

Weiss, P., Trimbacher, C. (1998): Nadeloberflächenparameter und Elementgehalte von Fichtennadeln ausgewählter Industriestandorte, R-154. Umweltbundesamt, Wien.

Windisch T., Rantitsch G., Bechtl A., Gratzner R., Prochaska W., Runge B., Meisel T., Reinhofer M. (2006): Chemical investigations of sewage sludge and waste water – City of Leoben. In: K.E. Lorber, W. Staber, H. Menapace, N. Kienzl & A. Vogrin. DepoTech 2006. Abfall- und Deponietechnik, Abfallwirtschaft, Altlasten. Tagungsband, VGE Verlag GMBH Essen, 827, Essen.

Zessner, M. (1999): Bedeutung und Steuerung von Nährstoff- und Schwermetallflüssen des Abwassers. Wiener Mitteilungen Band 157. Wien.

ZUSER GmbH Umweltservice (2005): Deklaration des Alternativbrennstoffes. Peggau.

Internetrecherche

Als Anregungen bei Überlegungen und zur Kontrolle auf Plausibilität der zu interpretierenden Daten dienten 2005 - 2008 Daten des Steirischen Umweltdatenkatalogs sowie der digitale Atlas; Land Steiermark unter:

www.gis.steiermark.at/

und

www.umwelt.steiermark.at/

APPENDIX

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Luftbildaufnahme Leoben (zur Verfügung gestellt von der Stadt Leoben)
- Abb. 2 Lithotypen aus der Geologische Karte der Steiermark (Flügel & Neubauer, 1984), mit dem Straßennetz Leoben
- Abb. 3: Cluster-Mitgliedschaft der Schwermetallgehalte an den Messstellen im Raum Leoben (Daten vom Jänner 2005 bis Juni 2006 aus der steirischen Luftgüteüberwachung, Rantitsch in Reinhofer et. al., 2007)
- Abb. 4: Schematische Darstellung der Kläranlage mit den Probenahmepunkten (vgl. Tab. 1, Montanuniversität Leoben)
- Abb. 5: Reifenabrieb, die als „Sonstige“ bezeichneten Inhaltstoffe sind: Schwefel, Wachs, Phenylendiamine, Cyclohexylthiophtalimid, Sulfonamide, Anilin, Benzthiazol, Mercaptobenzthiazol und Mercaptobenzthiazoldisulfid. [www.conti-online.com/generator/www/com/de/continental/csr/themen/, Zugriff Juli 2006]
- Abb. 6: Herkunft Nickel [kg/Jahr], Diebold in Reinhofer et. al. (2007)
- Abb. 7: Herkunft Chrom [kg/Jahr], Diebold in Reinhofer et. al. (2007)
- Abb. 8: Herkunft Kupfer [kg/Jahr], Diebold in Reinhofer et. al. (2007)
- Abb. 9: Herkunft Zink [kg/Jahr], Diebold in Reinhofer et. al. (2007)
- Abb. 10: Bandpresse mit Probeentnahmestelle in der Kläranlage Leoben
- Abb. 11: Boxplots der Schwermetalle [$\mu\text{g/g}$] im Klärschlamm, Intensivbeprobung (Ausreißer \blacklozenge , weit entfernte Ausreißer \blacksquare)
- Abb. 12: Zeitreihe der Schwermetalle [$\mu\text{g/g}$] im Klärschlamm, Intensivbeprobung vom 30.05.2008 von 9:00 – 14:00 a) und vom 06.06.2008 von 08:00 – 14:00 b)
- Abb. 13: Probenehmer, Tagesmischproben (a) und Intensivbeprobung (b)
- Abb. 14: Probenentnahmestelle Presswassers
- Abb. 15: Probenehmer für die Tagesmischproben am Ablauf
- Abb. 16: Ergebnisse der Intensivbeprobung des Ablaufs im Juni (a) und Oktober 2005 b)

Abb. 17: Boxplots der Schwermetalle [$\mu\text{g/g}$] im Klärschlamm aller Proben (Ausreißer \blacklozenge , weit entfernte Ausreißer \blacksquare). Die schwarzen Striche markieren die Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Klärschlammkompost. Die hellgrauen Striche markieren die Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost nach der Kompostverordnung 2001

Abb. 18: Vergleich der Schwermetallkonzentrationen in den Fremdschlämmen

Abb. 19: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Leobner Klärschlämme

Abb. 20: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Fremdschlämme aus Göss, St. Lorenzen, Mautern und Aflenz

Abb. 21: Röntgendiffraktogramm a) KS 090206 (9. Februar 2006), b) KS 030306 (3. März 2006), c) KS 250406 (25. April 2006)

Abb. 22: Boxplots der Schwermetalle am Zulauf [$\mu\text{g/l}$] im Filtrat $<0,2 \mu\text{m}$ der Tagesmischproben aller Probenahmephasen, (Ausreißer \blacklozenge , weit entfernte Ausreißer \blacksquare)

Abb. 23: Boxplots der Schwermetalle am Ablauf [$\mu\text{g/l}$] im Filtrat $<0,2 \mu\text{m}$ der Tagesmischproben aller Probenahmephasen, (Ausreißer \blacklozenge , weit entfernte Ausreißer \blacksquare)

Abb. 24: Partitionierung der Elementverhältnisse zwischen partikulärer ($>0,2 \mu\text{m}$, schwarz) und gelöster ($<0,2 \mu\text{m}$, weiß) Phase im Zulauf und Ablauf im März (a) und Juni (b) 2006

Abb. 25: Ergebnisse der sequentiellen chemischen Extraktion der Leobner Klärschlämme vom 23.09.2005, 05.10.2005, 13.10.2005 und 17.11.2005

Abb. 26: An- bzw. Abreicherung der Medianwerte von Cr, Ni und Deposition aller Donawitzer Messstationen im Zeitraum Jänner 2005 bis Juni 2006 (Daten aus der steirischen Luftgüteüberwachung), Rantitsch in Reinhofer et. al. (2007)

Abb. 27: Konzentration von Chrom in der Fraktion $<0,2 \mu\text{m}$ mit der Zulaufganglinie im Februar 2006

Abb. 28: Probenmenge Filterrückstand $>0,2 \mu\text{m}$ mit der Zulaufganglinie im März 2006

Abb. 29: Konzentration von Zink (a) und Kupfer (b) in der Fraktion $>0,2 \mu\text{m}$ mit der Zulaufganglinie

Abb. 30: Zulaufmengen im Juni 2005

Abb. 31: Zulaufmengen im Februar 2006

Abb. 32: Temperaturverlauf (links), Schneedecke (rechts) an der Messstelle Leoben/Hinterberg

Abb. 33: Konzentration und Durchfluss (je Tag) für Chrom an trockenen Tagen und Regentagen (blau), Starkregenerenissen sind eingekreist

Abb. 34: Konzentration und Durchfluss für Nickel. Regentage sind blau dargestellt

Abb. 35: Konzentration und Durchfluss für Zink (links) und Kupfer (rechts). Die Proben der Regentage wurden für diese Darstellung eliminiert

Abb. 36: Konzentration und Durchfluss für Blei

Abb. 37: Chromwerte [$\mu\text{g/l}$] im zufließenden (Zulauf) und gereinigten Wasser (Ablauf), man beachte die unterschiedliche Skalierung in der Abbildung

Abb. 38: Elementwerte [$\mu\text{g/l}$] im zufließenden (Zulauf) und gereinigten Wasser (Ablauf)

Abb. 39: Cu, Zn, Ni, Cr, Msu (massenbezogene magnetische Suszeptibilität aus Herr, 2007) – Zeitreihen im Klärschlamm

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Untersuchte Medien der Kläranlage Leoben (aus Reinhofer et. al., 2007)
- Tab. 2: Grenzwerte (TM = Trockenmasse) für Schlamm als Ausgangsmaterial für Kompost (BGBl II Nr. 292 Teil II)
- Tab. 3: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost (BGBl II Nr. 292 Teil II)
- Tab. 4: Herkunft von Schwermetallen in % des Gesamteintrages in das Abwasser (Zessner, 1999)
- Tab. 5: Herkunft von Schwermetallen in % des Gesamteintrages der Haushaltsabwässer (Zessner, 1999)
- Tab. 6: Schwermetalleintrag aus Verkehrsemissionen durch PKW (Zessner, 1999)
- Tab. 7: Qualitative Beschaffenheit verkehrsbedingter Stoffe, die zur Verunreinigung an Straßen beitragen (Fritzer, 1992)
- Tab. 8: Stoffliche (a) und chemische (b) Zusammensetzung von Altreifen, [www.umweltschutz.ch, Zugriff Juli 2006]
- Tab. 9: Chemische Zusammensetzung von Altreifen (Gummianteil wurde untersucht), ZUSER GmbH Umweltservice (2005)
- Tab. 10: Klärschlammproben der 1. Beprobungsphase in der Kläranlage Leoben
- Tab. 11: Klärschlammproben ab September 2005 in der Kläranlage Leoben
- Tab. 12: Fremdschlammproben
- Tab. 13: Intensivbeprobungen des Zulaufs (**Filtrate)
- Tab. 14: Tagesmischproben des Zulaufs (* Stichprobe, **Filtrate)
- Tab. 15: Stichproben des Presswassers
- Tab. 16: Sandwaschwasser-Proben
- Tab. 17: Tagesmischproben des Ablaufs (**Filtrate)
- Tab. 18: Intensivbeprobung am Ablauf, 1. und 2. Beprobungsphase (*Stichprobe)
- Tab. 19: Referenzmaterialien für Schlammproben
- Tab. 20: Referenzmaterialien für Wasserproben
- Tab. 21: Statistische Kennwerte der Klärschlamm-Analysen ($\mu\text{g/g}$), mean (Mittelwert), sdv (Standardabweichung), med (Median), min (Minimalwert), max (Maximalwert)
- Tab. 22: Statistische Kennwerte der Fremdschlamm-Analysen ($\mu\text{g/g}$)

Tab. 23: Statistische Kennwerte Wasseranalysen ($\mu\text{g/l}$, $<0,2 \mu\text{m}$)

Tab. 24: Untersuchungsergebnisse der Röntgendiffraktometrie, die einzelnen Minerale werden nach ihrer Intensität mit xxx für dominierend, mit xx für häufig, mit x für vorkommend, mit - für wenig und mit o für fehlend gekennzeichnet.

Tab. 25: Auswertung Röntgendiffraktogramm bzgl. in Legierungen und in elementarer Form vorliegende Metalle, die einzelnen Peaks werden mit xxx für dominierend, xx für häufig vorkommend, x für vorkommend und o für fehlend gekennzeichnet.

Tab. 26: Elementkonzentrationen der Zulauf-2h-Mischproben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab. 27: Elementkonzentrationen der Zulauf-4h-Mischproben

Tabellen Appendix

Tab. 1: Elementkonzentrationen der Zulauf-Tagesproben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab. 2: Elementkonzentrationen der Zulauf-2h-Mischproben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab. 3 Elementkonzentrationen der Zulauf-4h-Mischproben

Tab.4: Elementkonzentrationen der Ablauf-Tagesproben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab.5: Elementkonzentrationen der Ablauf-4h-Mischproben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab. 6: Elementkonzentrationen im Presswasser

Tab. 7: Elementkonzentrationen im Sandwaschwasser (unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab. 8: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm des RHV Leoben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab. 9: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm des RHV Leoben (Intensivbeprobung, unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab. 10: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm aus Göß (unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab. 11: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm aus St. Lorenzen

Tab. 12: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm aus Aflenz (unsichere Werte, durchgestrichen)

Tab. 13: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm aus Mautern

Tab. 14: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Klärschlämme Leoben (%) bezogen auf den Glührückstand, Schwefel und Phosphor liegen außerhalb des Kalibrationsbereichs und werden hier nicht dargestellt.

Tab. 15: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Klärschlämme Leoben (%) bezogen auf die Trockenmasse, Schwefel und Phosphor liegen außerhalb des Kalibrationsbereichs und werden hier nicht dargestellt.

Tab. 16: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Fremdschlämme (%) Göss (G), St. Lorenzen (SL), Mautern (M) und Aflenz (A) bezogen auf den Glührückstand, Schwefel und Phosphor liegen außerhalb des Kalibrationsbereichs und werden hier nicht dargestellt.

Tab. 17: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Fremdschlämme (%) bezogen auf die Trockenmasse, Schwefel und Phosphor liegen außerhalb des Kalibrationsbereichs und werden hier nicht dargestellt.

Tagesmischproben Zulauf

Von	Bis	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd		Hg	
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw
		[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]
02.06.2005	12:00	03.06.2005	7:30	1.3	0.04	6.9	1.4	8.5	5.1	16.3	1.2	0.65	0.09				
03.06.2005	7:30	04.06.2005	7:30	1.2	0.1	6.9	3.0	7.3	5.7	1.3	0.2	0.51	0.09				
04.06.2005	7:30	05.06.2005	7:30	0.7	0.04	3.8	0.6	4.2	1.9	6.4	1.1	0.41	0.09				
05.06.2005	7:30	06.06.2005	7:30	0.3	0.04	2.4	0.1	3.1	0.8	7.8	1.3	0.35	0.09				
06.06.2005	7:30	07.06.2005	7:30	1.1	0.04	8.0	0.9	7.3	3.5	52.6	0.8	0.72	0.09				
07.06.2005	7:30	08.06.2005	7:30	1.8	0.03	8.2	1.1	17.5	3.9	78.1	0.05	3.64	0.08				
08.06.2005	7:30	09.06.2005	7:30	0.8	0.1	8.0	1.8	4.7	4.2	<1.0		0.32	0.09				
09.06.2005	7:30	10.06.2005	7:30	1.2	0.03	61.7	5.5	11.4	4.6	<1.0		0.32	0.09				
09.10.2005	07:00	10.10.2005	07:00	3.5	0.4	12.0	1.3	1.6	0.2	18.0	1.9	0.32	0.02	1.37	0.01	< 0.1	
11.10.2005	07:00	12.10.2005	07:00	4.6	0.5	18.0	1.9	1.1	0.1	28.0	2.7	0.27	0.02	1.66	0.01	< 0.1	
12.10.2005	07:00	13.10.2005	07:00	3.9	0.4	10.5	1.1	0.5	0.1	99.4	8.5	0.22	0.02	1.54	0.005	< 0.1	
13.10.2005	07:00	14.10.2005	07:00	3.0	0.4	9.5	1.1	0.9	0.1	12.1	1.4	0.31	0.02	1.04	0.03	< 0.1	
15.10.2005	07:00	16.10.2005	07:00	3.6	0.4	9.5	1.0	1.2	0.1	33.7	3.2	0.30	0.02	1.32	0.01	< 0.1	
16.10.2005	07:00	17.10.2005	07:00	3.5	0.4	13.0	1.4	0.3	0.1	15.9	1.7	0.17	0.02	0.96	0.04	< 0.1	
17.10.2005	07:00	18.10.2005	07:00	2.7	0.3	8.1	0.9	0.6	0.1	23.9	2.4	0.25	0.02	0.76	0.05	< 0.1	
18.10.2005	07:00	19.10.2005	07:00	4.3	0.5	11.8	1.2	0.5	0.1	18.4	1.9	0.20	0.02	1.10	0.03	< 0.1	
21.10.2005	07:00	22.10.2005	07:00	2.7	0.3	7.9	0.8	0.7	0.1	13.4	1.5	0.20	0.02	0.76	0.05	< 0.1	
13.02.2006	07:00	14.02.2006	07:00	2.0	0.5	6.4	0.7	2.4	0.1	12.8	0.4	0.55	0.01	2.08	0.21	< 0.1	
14.02.2006	07:00	15.02.2006	07:00	3.2	0.9	7.8	0.8	1.3	0.02	5.7	0.2	0.23	0.02	0.26	0.10	< 0.1	
15.02.2006	07:00	16.02.2006	07:00	3.3	0.6	5.6	0.7	1.4	0.1	10.4	0.3	0.32	0.02	0.14	0.08	< 0.1	
16.02.2006	07:00	17.02.2006	07:00	2.7	1.0	4.2	0.7	1.1	0.1	17.0	0.7	0.59	0.01	0.34	0.07	< 0.1	
17.02.2006	07:00	18.02.2006	07:00	5.4	1.3	6.7	0.5	1.3	0.04	10.9	0.6	0.47	0.02	0.86	0.10	< 0.1	
18.02.2006	07:00	19.02.2006	07:00	5.2	1.2	5.5	1.0	12.1	0.1	15.7	0.4	0.40	0.01	0.36	0.11	< 0.1	
19.02.2006	07:00	20.02.2006	07:00	3.4	0.9	9.5	0.9	2.4	0.1	8.1	0.5	0.43	0.02	0.47	0.10	< 0.1	
20.02.2006	07:00	21.02.2006	07:00	2.7	0.6	10.0	0.8	2.4	0.1	18.0	0.4	0.43	0.02	0.31	0.08	< 0.1	
23.02.2006	07:00	24.02.2006	07:00	3.3	0.7	5.3	0.7	1.7	0.03	62.2	0.5	0.46	0.02	0.32	0.08	< 0.1	
24.02.2006	07:00	25.02.2006	07:00	2.8	0.9	5.0	0.8	1.4	0.05	15.0	0.2	0.49	0.02	0.24	0.10	< 0.1	

Von	Bis	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd		Hg		
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	
		[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	
04.04.2006	07:00	05.04.2006	07:00	3.3	0.5	12.1	0.8	8.0	0.2	33.5	0.5	0.53	0.02	4.08	0.19	< 0.1		
05.04.2006	07:00	06.04.2006	07:00	4.8	1.0	11.5	1.1	3.1	0.1	20.6	0.3	0.39	0.02	0.38	0.10	< 0.1		
06.04.2006	07:00	07.04.2006	07:00	2.5	0.8	9.9	0.8	3.4	0.1	20.3	0.3	0.37	0.01	0.84	0.09	< 0.1		
07.04.2006	07:00	08.04.2006	07:00	3.0	1.3	9.5	0.8	3.9	0.03	35.4	0.1	0.47	0.02	0.67	0.09	< 0.1		
08.04.2006	07:00	09.04.2006	07:00	2.9	0.8	8.0	0.9	0.7	0.1	13.4	0.5	0.32	0.01	0.81	0.09	< 0.1		
09.04.2006	07:00	10.04.2006	07:00	8.8	1.1	16.8	1.1	2.6	0.1	9.9	0.03	0.23	0.02	0.91	0.08	< 0.1		
10.04.2006	07:00	11.04.2006	07:00	2.9	1.1	13.9	1.2	1.9	0.1	7.0	0.03	0.25	0.02	1.58	0.20	< 0.1		
11.04.2006	07:00	12.04.2006	07:00	0.7	0.8	7.1	0.6	1.6	0.04	26.8	0.6	0.47	0.03	1.19	0.15	< 0.1		
12.04.2006	07:00	13.04.2006	07:00	2.1	1.0	5.8	0.9	1.9	0.05	20.7	0.2	0.46	0.02	0.92	0.09	< 0.1		
13.04.2006	07:00	14.04.2006	07:00	3.2	1.1	5.4	0.8	1.1	0.1	22.9	0.5	0.39	0.01	0.57	0.06	< 0.1		
14.04.2006	07:00	15.04.2006	07:00	2.0	0.8	5.4	0.9	0.8	0.02	12.2	0.5	0.25	0.02	0.67	0.08	< 0.1		
15.04.2006	07:00	16.04.2006	07:00	4.4	1.2	7.0	0.8	1.7	0.1	2.1	0.3	0.28	0.02	0.84	0.20	< 0.1		
16.04.2006	07:00	17.04.2006	07:00	5.0	1.5	6.1	0.8	2.1	0.1	5.5	0.2	0.32	0.03	0.63	0.18	< 0.1		
17.04.2006	07:00	18.04.2006	07:00	3.2	0.8	6.1	0.7	2.5	0.1	12.1	0.03	0.48	0.02	1.63	0.22	< 0.1		
18.04.2006	07:00	19.04.2006	07:00	4.6	0.8	4.4	0.7	4.2	0.1	17.5	0.5	0.39	0.01	0.55	0.05	< 0.1		
19.04.2006	07:00	20.04.2006	07:00	3.1	1.4	8.7	0.8	2.7	0.1	17.7	0.3	0.45	0.02	0.60	0.12	< 0.1		
06.06.2006	7:00	07.06.2006	7:00	4.6	0.7	10.7	0.7	6.3	0.2	38.7	0.4	0.61	0.04	0.53	0.03	< 0.1	0.02	0.003
07.06.2006	7:00	08.06.2006	7:00	4.4	1.0	7.0	0.3	5.0	0.1	16.8	0.3	0.35	0.04	0.71	0.09	< 0.1	0.01	0.0001
08.06.2006	7:00	09.06.2006	7:00	5.0	0.1	6.5	0.3	5.5	0.1	34.5	0.5	0.44	0.05	0.28	0.03	< 0.1	0.02	0.003
09.06.2006	7:00	10.06.2006	7:00	3.4	0.1	9.8	0.2	3.5	0.1	28.4	0.6	0.23	0.04	0.56	0.08	< 0.1	0.01	0.000
10.06.2006	7:00	11.06.2006	7:00	3.5	0.3	7.4	0.7	4.1	0.1	29.9	0.5	0.25	0.03	0.95	0.10	< 0.1	0.01	0.001
11.06.2006	7:00	12.06.2006	7:00	3.7	0.1	9.1	0.6	5.0	0.1	28.3	0.5	0.24	0.04	0.80	0.07	< 0.1	0.004	0.002
12.06.2006	7:00	13.06.2006	7:00	3.1	0.1	6.4	0.7	7.9	0.1	60.4	0.3	0.63	0.03	0.39	0.05	< 0.1	0.01	0.001
13.06.2006	7:00	14.06.2006	7:00	4.1	0.3	8.2	0.5	8.3	0.1	53.0	0.9	0.59	0.02	0.56	0.14	< 0.1	0.01	0.001
18.06.2006	7:00	19.06.2006	7:00	3.0	0.3	8.0	0.6	12.1	0.1	32.4	0.1	0.39	0.03	0.53	0.04	< 0.1	0.002	0.002
19.06.2006	7:00	20.06.2006	7:00	2.6	0.1	7.0	0.4	6.8	0.1	28.0	0.3	0.48	0.03	0.62	0.07	< 0.1	0.004	0.001

Tab. 1: Elementkonzentrationen der Zulauf-Tagesproben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Intensivbeprobung Zulauf

				Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd	
Von		Bis		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	Konz.	StdAbw	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw
				[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]	
30.05.2005	12:30	30.05.2005	14:30	1.9	0.1	12.4	8.3	7.4	4.8	23.6	1.2	1.01	0.08				
30.05.2005	14:30	30.05.2005	16:30	1.7	0.1	8.4	2.1	9.0	3.9	13.3	1.1	1.36	0.09				
30.05.2005	16:30	30.05.2005	18:30	2.0	0.1	8.1	0.4	18.3	3.2	46.3	0.7	3.12	0.08				
30.05.2005	18:30	30.05.2005	20:30	1.2	0.03	9.1	0.2	13.4	0.9	38.1	0.6	2.40	0.09				
30.05.2005	20:30	30.05.2005	22:30	1.2	0.03	10.8	0.2	11.4	1.2	32.5	0.8	1.27	0.08				
30.05.2005	22:30	31.05.2005	00:30	0.7	0.03	6.3	0.1	10.2	0.7	23.5	0.8	0.90	0.08				
31.05.2005	00:30	31.05.2005	02:30	0.9	0.02	5.8	0.2	8.9	0.8	29.3	0.6	0.52	0.09				
31.05.2005	02:30	31.05.2005	04:30	1.1	0.1	7.1	0.2	9.1	2.3	12.2	0.6	1.03	0.09				
31.05.2005	04:30	31.05.2005	06:30	1.1	0.04	7.3	0.2	10.7	2.7	15.9	0.8	0.80	0.09				
31.05.2005	06:30	31.05.2005	08:30	1.3	0.02	8.1	0.2	12.4	3.0	26.1	0.6	1.27	0.09				
31.05.2005	08:30	31.05.2005	10:30	2.0	0.1	7.2	0.1	14.8	2.3	52.2	0.5	1.37	0.08				
31.05.2005	10:30	31.05.2005	12:30	1.9	0.02	7.5	0.2	9.2	3.2	42.6	0.2	1.09	0.09				
31.05.2005	12:30	31.05.2005	14:30	1.8	0.1	9.6	0.1	26.8	2.5	82.4	0.1	1.20	0.08				
31.05.2005	14:30	31.05.2005	16:30	2.0	0.02	12.9	0.1	15.2	2.2	74.6	0.1	2.82	0.08				
31.05.2005	16:30	31.05.2005	18:30	1.4	0.04	7.8	0.2	5.3	4.2	10.9	1.2	0.73	0.08				
31.05.2005	18:30	31.05.2005	20:30	1.7	0.1	7.8	0.3	8.9	5.2	24.2	1.2	0.92	0.08				
31.05.2005	20:30	31.05.2005	22:30	2.2	0.1	12.7	0.3	12.8	4.3	37.1	1.0	1.26	0.08				
31.05.2005	22:30	01.06.2005	00:30	1.8	0.1	9.0	0.3	5.5	3.9	25.9	0.8	0.86	0.08				
01.06.2005	00:30	01.06.2005	02:30	2.9	0.1	10.3	0.7	9.8	5.3	37.4	1.1	1.38	0.09				
01.06.2005	02:30	01.06.2005	04:30	2.9	0.1	9.7	1.5	11.9	5.7	28.7	0.7	1.04	0.08				
01.06.2005	04:30	01.06.2005	06:30	2.9	0.1	11.4	1.4	26.0	6.4	22.9	0.8	1.16	0.09				
01.06.2005	06:30	01.06.2005	08:30	2.4	0.1	8.0	0.5	16.4	5.1	32.8	0.6	1.13	0.08				
01.06.2005	08:30	01.06.2005	10:30	1.0	0.1	10.5	1.3	4.0	3.3	5.3	1.2	0.72	0.08				
01.06.2005	10:30	02.06.2005	12:30	1.3	0.03	6.0	0.4	8.6	3.3	29.6	0.7	1.06	0.09				
25.10.2005	09:00	25.10.2005	11:00	3.9	0.4	10.5	1.1	1.8	0.2	34.2	3.2	0.42	0.02	1.03	0.03	< 0,1	
25.10.2005	11:00	25.10.2005	13:00	3.6	0.4	8.2	0.9	2.5	0.3	32.8	3.1	1.67	0.03	1.02	0.03	< 0,1	
25.10.2005	13:00	25.10.2005	15:00	3.6	0.4	7.8	0.8	2.5	0.3	40.0	3.7	0.48	0.02	1.05	0.03	< 0,1	
25.10.2005	15:00	25.10.2005	17:00	3.3	0.4	7.8	0.8	2.6	0.3	20.3	2.1	0.64	0.02	1.19	0.02	< 0,1	
25.10.2005	17:00	25.10.2005	19:00	4.1	0.5	10.8	1.1	2.2	0.2	63.9	5.6	0.49	0.02	1.42	0.01	< 0,1	

Von	Bis	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd		
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	
		[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[µg/L]	
25.10.2005	19:00	25.10.2005	21:00	3.6	0.4	12.4	1.3	6.4	0.6	63.7	5.6	0.49	0.02	1.32	0.01	< 0.1
25.10.2005	21:00	25.10.2005	23:00	2.7	0.3	9.1	1.0	1.9	0.2	82.9	7.1	0.43	0.02	1.17	0.02	< 0.1
25.10.2005	23:00	26.10.2005	01:00	3.4	0.4	11.8	1.2	3.5	0.3	28.5	2.7	0.48	0.02	1.30	0.01	< 0.1
26.10.2005	01:00	26.10.2005	03:00	3.1	0.4	7.4	0.8	2.0	0.2	90.5	7.7	0.57	0.02	1.16	0.02	< 0.1
26.10.2005	03:00	26.10.2005	05:00	3.0	0.4	7.1	0.8	2.0	0.2	45.8	4.1	0.44	0.02	1.16	0.02	< 0.1
26.10.2005	05:00	26.10.2005	07:00	3.4	0.4	6.6	0.7	2.3	0.2	34.2	3.2	0.44	0.02	1.01	0.04	< 0.1
26.10.2005	07:00	26.10.2005	09:00	3.4	0.4	7.7	0.8	2.1	0.2	37.3	3.4	0.44	0.02	1.21	0.02	< 0.1
26.10.2005	09:00	26.10.2005	11:00	3.1	0.4	7.8	0.8	1.9	0.2	29.3	2.8	0.42	0.02	1.22	0.02	< 0.1
26.10.2005	11:00	26.10.2005	13:00	2.9	0.3	27.4	2.8	2.2	0.2	20.4	2.1	0.43	0.02	1.13	0.03	< 0.1
26.10.2005	13:00	26.10.2005	15:00	4.9	0.5	25.6	2.6	3.2	0.3	25.7	2.5	0.58	0.02	1.10	0.03	< 0.1
26.10.2005	15:00	26.10.2005	17:00	5.4	0.6	9.2	1.0	3.1	0.3	20.0	2.1	0.72	0.02	1.05	0.03	< 0.1
26.10.2005	17:00	26.10.2005	19:00	5.0	0.5	23.4	2.4	4.5	0.4	25.7	2.5	0.65	0.02	1.29	0.01	< 0.1
26.10.2005	19:00	26.10.2005	21:00	4.5	0.5	17.4	1.8	3.5	0.3	26.2	2.6	0.43	0.02	1.24	0.02	< 0.1
26.10.2005	21:00	26.10.2005	23:00	4.3	0.5	13.3	1.4	4.0	0.4	30.8	2.9	0.54	0.02	1.29	0.01	< 0.1
26.10.2005	23:00	27.10.2005	01:00	4.4	0.5	10.2	1.1	2.7	0.3	27.8	2.7	0.48	0.02	1.34	0.01	< 0.1
27.10.2005	01:00	27.10.2005	03:00	4.7	0.5	19.1	2.0	3.1	0.3	29.1	2.8	0.80	0.02	1.35	0.01	< 0.1
27.10.2005	03:00	27.10.2005	05:00	4.8	0.5	14.4	1.5	2.8	0.3	27.6	2.7	0.40	0.02	1.52	0.00	< 0.1
27.10.2005	05:00	27.10.2005	07:00	1.1	0.2	2.1	0.4	3.3	0.4	36.6	3.4	0.35	0.02	0.71	0.06	< 0.1
27.10.2005	07:00	27.10.2005	09:00	2.8	0.3	8.0	0.9	1.6	0.2	23.3	2.3	0.37	0.02	0.96	0.04	< 0.1

Tab. 26: Elementkonzentrationen der Zulauf-2h-Mischproben (unsichere Werte, durchgestrichen)

				Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd	
				Konz.	StdAbw												
Von	Bis			[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]	
21.02.2006	09:00	21.02.2006	13:00	3.5	0.1	7.6	0.3	4.3	0.1	65.3	1.3	0.74	0.03	3.4	0.3	< 0.1	
21.02.2006	13:00	21.02.2006	17:00	8.9	1.2	6.0	0.2	3.4	0.03	52.2	0.1	0.75	0.03	3.0	0.4	< 0.1	
21.02.2006	17:00	21.02.2006	21:00	11.3	0.4	5.2	0.2	3.5	0.1	98.1	0.04	0.70	0.02	2.7	0.2	< 0.1	
21.02.2006	21:00	22.02.2006	01:00	4.9	0.1	6.0	0.3	4.7	0.1	93.8	0.2	0.78	0.04	2.3	0.2	< 0.1	
22.02.2006	01:00	22.02.2006	05:00	4.0	0.2	6.2	0.3	3.0	0.1	36.4	0.2	0.64	0.03	2.2	0.2	< 0.1	
22.02.2006	05:00	22.02.2006	09:00	4.6	0.1	7.1	0.3	4.8	0.1	38.5	0.00	0.70	0.02	2.1	0.2	< 0.1	
22.02.2006	09:00	22.02.2006	13:00	4.2	0.2	6.5	0.1	3.9	0.1	29.2	0.2	0.71	0.03	1.6	0.2	< 0.1	
22.02.2006	13:00	22.02.2006	17:00	4.5	0.4	5.9	0.2	3.4	0.1	36.0	0.3	0.78	0.04	1.5	0.1	< 0.1	
22.02.2006	17:00	22.02.2006	21:00	13.5	0.7	7.8	0.2	3.5	0.1	66.5	0.8	0.77	0.03	1.6	0.1	< 0.1	
22.02.2006	21:00	23.02.2006	01:00	12.6	0.2	7.9	0.2	8.2	0.1	43.8	0.3	0.96	0.03	1.6	0.2	< 0.1	
23.02.2006	01:00	23.02.2006	05:00	4.1	1.0	6.5	0.6	3.7	0.3	29.6	0.3	0.59	0.03	0.8	0.04	< 0.1	
23.02.2006	05:00	23.02.2006	09:00	7.4	1.5	7.2	0.8	6.3	0.1	36.9	0.9	0.83	0.02	0.5	0.1	< 0.1	

Tab. 27: Elementkonzentrationen der Zulauf-4h-Mischproben

Tagesmischproben Ablauf

Von	Bis	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd	
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw
		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]	
03.06.2005	07:30	04.06.2005	07:30	3.6	0.1	8.7	2.5	4.2	3.9	4.8	1.4	0.29	0.09		
04.06.2005	07:30	05.06.2005	07:30	0.5	0.02	7.5	2.3	4.6	4.2	4.9	1.4	0.30	0.09		
05.06.2005	07:30	06.06.2005	07:30	0.5	0.01	5.5	1.5	3.9	3.4	2.9	1.4	0.26	0.09		
07.06.2005	07:30	08.06.2005	07:30	0.2	0.01	4.5	0.7	3.9	2.2	36.7	1.0	0.33	0.09		
08.06.2005	07:30	09.06.2005	07:30	0.0	0.02	5.0	0.7	5.4	3.0	3.3	1.5	0.20	0.09		
09.06.2005	07:30	10.06.2005	07:30	0.1	0.01	5.7	0.8	4.4	3.3	5.1	1.5	0.22	0.09		
10.06.2005	07:30	11.06.2005	07:30	0.1	0.1	16.3	1.2	4.2	3.7	3.7	1.6	0.26	0.09		
11.06.2005	07:30	12.06.2005	07:30	0.2	0.04	16.4	1.3	4.6	3.7	5.4	1.5	0.32	0.09		
12.06.2005	07:30	13.06.2005	07:30	0.3	0.1	20.4	1.0	5.7	4.1	5.7	1.2	0.33	0.08		
09.10.2005	07:00	10.10.2005	07:00	2.1	0.3	9.3	1.0	1.8	0.2	36.2	3.4	0.33	0.02	1.2	0.02
10.10.2005	07:00	11.10.2005	07:00	3.1	0.4	13.3	1.4	1.9	0.2	48.1	4.3	0.31	0.02	1.7	0.02
11.10.2005	07:00	12.10.2005	07:00	3.0	0.4	13.4	1.4	6.0	0.6	40.4	3.7	0.24	0.02	1.7	0.02
12.10.2005	07:00	13.10.2005	07:00	3.4	0.4	11.2	1.2	0.9	0.1	29.1	2.8	0.25	0.02	1.5	0.00
13.10.2005	07:00	14.10.2005	07:00	2.3	0.3	12.0	1.3	1.4	0.2	31.8	3.0	0.25	0.02	1.5	0.001
15.10.2005	07:00	16.10.2005	07:00	2.7	0.3	12.2	1.3	1.1	0.1	42.7	3.9	0.21	0.02	1.4	0.004
16.10.2005	07:00	17.10.2005	07:00	2.9	0.3	12.7	1.3	0.8	0.1	18.7	2.0	0.17	0.02	1.3	0.01
17.10.2005	07:00	18.10.2005	07:00	2.3	0.3	9.1	1.0	0.8	0.1	30.3	2.9	0.25	0.02	1.2	0.02
18.10.2005	07:00	19.10.2005	07:00	2.2	0.3	8.8	0.9	0.4	0.1	59.1	5.2	0.24	0.02	1.1	0.03
21.10.2005	07:00	22.10.2005	07:00	2.4	0.3	12.1	1.3	1.2	0.2	26.4	2.6	0.27	0.02	1.5	0.001
13.02.2006	07:00	14.02.2006	07:00	6.1	0.2	8.6	0.3	1.5	0.02	14.7	0.3	0.29	0.04	1.0	0.05
14.02.2006	07:00	15.02.2006	07:00	8.3	0.1	8.0	0.3	0.9	0.04	17.5	0.1	0.28	0.03	1.3	0.1
15.02.2006	07:00	16.02.2006	07:00	19.3	0.6	5.8	0.4	1.5	0.04	26.7	0.1	0.32	0.04	1.4	0.1
16.02.2006	07:00	17.02.2006	07:00	12.9	0.3	5.5	0.3	1.2	0.1	27.7	0.7	0.32	0.04	1.2	0.1
17.02.2006	07:00	18.02.2006	07:00	20.6	0.1	5.5	0.5	1.9	0.1	26.8	0.1	0.33	0.04	1.8	0.1
18.02.2006	07:00	19.02.2006	07:00	13.1	0.3	5.9	0.4	2.2	0.1	29.1	0.2	0.40	0.03	2.5	0.2
19.02.2006	07:00	20.02.2006	07:00	21.2	0.3	5.3	0.4	1.1	0.1	51.3	0.2	0.42	0.02	3.7	0.2
20.02.2006	07:00	21.02.2006	07:00	34.4	0.5	6.2	0.5	1.6	0.1	23.6	0.1	0.49	0.03	7.6	0.7
21.02.2006	07:00	22.02.2006	07:00	13.6	0.3	6.5	0.5	1.4	0.04	36.8	0.8	0.33	0.04	2.7	0.2
22.02.2006	07:00	23.02.2006	07:00	16.3	0.4	9.1	0.3	1.9	0.1	57.3	0.9	0.41	0.04	2.0	0.1
23.02.2006	07:00	24.02.2006	07:00	8.3	0.3	5.6	0.5	0.9	0.03	24.9	0.0	0.29	0.03	1.6	0.2
24.02.2006	07:00	25.02.2006	07:00	8.0	0.1	5.7	0.4	1.2	0.1	16.2	0.3	0.30	0.03	1.5	0.2

Von	Bis	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd		
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	
		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		
04.05.2006	07:00	05.05.2006	07:00	9.6	0.1	8.1	0.4	1.4	0.1	12.1	0.4	0.26	0.03	1.0	0.04	< 0.1
05.05.2006	07:00	06.05.2006	07:00	11.0	0.2	8.3	0.5	2.1	0.1	20.0	0.2	0.27	0.03	0.9	0.1	< 0.1
06.05.2006	07:00	07.05.2006	07:00	10.4	0.5	8.9	0.4	2.2	0.05	21.5	0.4	0.30	0.04	1.0	0.02	< 0.1
07.05.2006	07:00	08.05.2006	07:00	16.4	0.05	9.1	0.3	2.6	0.1	20.6	0.3	0.47	0.03	4.1	0.1	< 0.1
08.05.2006	07:00	09.05.2006	07:00	5.4	0.2	8.8	0.5	2.3	0.1	21.3	0.0	0.30	0.03	1.0	0.1	< 0.1
09.05.2006	07:00	10.05.2006	07:00	4.3	0.1	10.3	0.4	2.2	0.05	21.8	0.5	0.31	0.03	1.0	0.1	< 0.1
10.05.2006	07:00	11.05.2006	07:00	6.5	0.1	8.9	0.6	1.6	0.1	25.7	0.3	0.30	0.03	1.1	0.1	< 0.1
11.05.2006	07:00	12.05.2006	07:00	3.1	0.2	7.6	0.5	3.8	0.1	20.5	0.3	0.42	0.03	0.8	0.1	< 0.1
12.05.2006	07:00	13.05.2006	07:00	4.8	0.2	7.3	0.4	1.9	0.1	13.3	0.5	0.40	0.04	10.6	1.2	< 0.1
13.05.2006	07:00	14.05.2006	07:00	15.2	1.9	7.8	0.2	2.2	0.1	18.3	0.1	0.32	0.03	5.6	0.4	< 0.1
14.05.2006	07:00	15.05.2006	07:00	3.9	0.1	7.0	0.4	1.7	0.04	13.2	0.2	0.31	0.03	0.9	0.1	< 0.1
15.05.2006	07:00	16.05.2006	07:00	4.6	0.1	6.4	0.6	1.7	0.1	18.6	0.8	0.24	0.04	0.9	0.04	< 0.1
16.05.2006	07:00	17.05.2006	07:00	9.9	0.3	7.0	0.4	1.5	0.1	17.1	0.1	0.27	0.03	0.9	0.1	< 0.1
17.05.2006	07:00	18.05.2006	07:00	6.0	0.3	11.6	0.6	1.0	0.1	12.7	0.5	0.32	0.03	1.0	0.04	< 0.1
18.05.2006	07:00	19.05.2006	07:00	4.3	0.2	6.4	0.4	1.5	0.1	14.8	0.4	0.25	0.03	0.9	0.1	< 0.1
19.05.2006	07:00	20.05.2006	07:00	4.8	0.2	6.3	0.4	1.8	0.1	14.5	0.3	0.37	0.03	1.0	0.1	< 0.1
06.06.2006	07:00	07.06.2006	07:00	20.6	0.2	5.6	0.5	1.1	0.04	14.9	0.1	0.41	0.04	4.5	0.3	< 0.1
07.06.2006	07:00	08.06.2006	07:00	11.9	0.2	6.5	0.5	4.4	0.1	15.4	0.01	0.32	0.04	2.5	0.1	< 0.1
08.06.2006	07:00	09.06.2006	07:00	9.1	0.4	7.2	0.6	7.3	0.1	17.8	0.2	0.88	0.06	2.0	0.1	< 0.1
09.06.2006	07:00	10.06.2006	07:00	6.6	0.6	20.9	1.1	2.0	0.1	18.0	0.3	0.24	0.04	1.6	0.1	< 0.1
10.06.2006	07:00	11.06.2006	07:00	7.0	0.3	7.2	0.6	2.3	0.1	20.2	0.3	0.18	0.03	1.5	0.2	< 0.1
11.06.2006	07:00	12.06.2006	07:00	5.0	0.3	6.3	0.5	1.6	0.1	19.1	0.04	0.17	0.03	1.6	0.1	< 0.1
12.06.2006	07:00	13.06.2006	07:00	4.3	0.2	5.6	0.4	1.5	0.1	15.3	0.1	0.13	0.04	1.5	0.1	< 0.1
13.06.2006	07:00	14.06.2006	07:00	4.3	0.5	5.2	0.4	1.5	0.1	13.8	0.1	0.13	0.04	1.2	0.1	< 0.1
18.06.2006	07:00	19.06.2006	07:00	3.7	0.4	4.5	0.5	1.0	0.1	5.5	0.3	0.06	0.03	1.0	0.1	< 0.1
19.06.2006	07:00	20.06.2006	07:00	3.1	0.03	4.3	0.4	1.5	0.1	8.0	0.1	0.16	0.05	0.9	0.1	< 0.1

Tab.4: Elementkonzentrationen der Ablauf-Tagesproben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Intensivbeprobung Ablauf

Von	Bis	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd		
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	
		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		
06.06.2005	13:45	06.06.2005	17:45	0.1	0.04	3.8	0.2	3.8	1.9	17.0	0.5	0.17	0.08			
06.06.2005	17:45	06.06.2005	21:45													
06.06.2005	21:45	06.06.2005	01:45	0.1	0.01	5.7	0.2	3.7	1.8	17.0	0.3	0.19	0.08			
07.06.2005	01:45	07.06.2005	05:45	0.2	0.02	4.4	0.2	13.3	1.9	24.2	0.7	0.22	0.08			
07.06.2005	05:45	07.06.2005	09:45	0.2	0.1	4.4	0.1	3.2	2.0	26.5	0.7	0.36	0.08			
07.06.2005	09:45	07.06.2005	13:45	0.1	0.02	3.6	0.2	3.2	2.0	3.0	0.9	0.13	0.02			
07.06.2005	13:45	07.06.2005	17:45	0.1	0.03	5.2	0.3	5.7	2.1	17.9	0.5	0.27	0.08			
07.06.2005	17:45	07.06.2005	21:45	0.0	0.02	4.4	0.2	12.1	2.3	19.9	0.2	0.16	0.08			
07.06.2005	21:45	08.06.2005	01:45	<0.06		4.1	0.2	5.9	2.5	15.1	0.7	0.22	0.08			
08.06.2005	01:45	08.06.2005	05:45	<0.06		4.5	0.2	6.3	2.6	12.6	0.6	0.34	0.08			
08.06.2005	05:45	08.06.2005	09:45	<0.06		4.3	0.2	4.4	2.6	10.2	0.9	0.35	0.08			
08.06.2005	09:45	08.06.2005	13:00	0.3	0.04	4.5	0.2	4.4	2.7	15.8	0.7	0.36	0.08			
08.06.2005	13:00	08.06.2005	17:00	<0.06		4.3	0.3	3.8	2.9	5.2	0.8	0.24	0.08			
08.06.2005	17:00	08.06.2005	21:00	<0.06		4.4	0.3	6.5	2.9	5.7	0.8	0.19	0.08			
08.06.2005	21:00	09.06.2005	01:00	<0.06		4.5	0.3	4.4	3.0	10.6	0.9	0.29	0.08			
09.06.2005	01:00	09.06.2005	05:00	<0.06		4.9	0.3	4.0	3.2	6.3	0.7	0.34	0.08			
09.06.2005	05:00	09.06.2005	09:00	0.3	0.04	5.0	0.4	3.5	3.2	14.0	0.7	0.48	0.08			
09.06.2005	09:00	09.06.2005	13:00	0.1	0.03	5.1	0.4	5.0	3.4	6.2	0.9	0.33	0.08			
09.06.2005	13:00	09.06.2005	16:00	<0.06		5.0	0.5	6.0	3.4	10.7	0.8	0.44	0.08			
09.06.2005	16:00	09.06.2005	20:00	0.04	0.02	5.9	0.5	8.0	3.5	10.3	0.8	0.52	0.08			
09.06.2005	20:00	09.06.2005	00:00	0.3	0.02	5.6	0.2	4.4	3.7	8.3	0.1	0.47	0.03			
10.06.2005	00:00	10.06.2005	04:00	0.3	0.05	5.8	0.2	9.4	3.6	9.8	0.1	0.50	0.03			
10.06.2005	04:00	10.06.2005	08:00	0.2	0.04	6.2	0.3	4.2	3.5	9.5	0.02	0.50	0.03			
10.06.2005	08:00	10.06.2005	12:00	0.3	0.04	7.5	0.3	5.9	3.6	10.7	0.1	0.57	0.04			
10.06.2005	12:00	10.06.2005	16:00	0.4	0.05	7.6	0.3	8.2	3.6	11.3	0.05	0.63	0.04			
11.10.2005	12:30	11.10.2005	16:30	1.4	0.2	18.7	1.9	7.1	0.7	58.7	5.2	0.30	0.02	1.87	0.03	< 0.1
11.10.2005	16:30	11.10.2005	20:30	1.7	0.2	16.4	1.7	5.9	0.6	47.2	4.2	0.30	0.02	1.86	0.03	< 0.1
11.10.2005	20:30	12.10.2005	00:30	1.8	0.2	15.1	1.6	5.6	0.5	36.5	3.4	0.27	0.02	1.81	0.02	< 0.1
12.10.2005	00:30	12.10.2005	04:30	1.3	0.2	16.6	1.7	10.9	1.0	55.2	4.9	0.39	0.02	1.82	0.03	< 0.1

Von	Bis	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd		
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	
		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		[µg/L]		
12.10.2005	04:30	12.10.2005	08:30	2.9	0.3	14.6	1.5	5.1	0.5	38.8	3.6	0.34	0.02	1.51	0.00	< 0.1
12.10.2005	08:30	12.10.2005	11:00	3.0	0.4	14.2	1.5	4.6	0.4	33.1	3.1	0.36	0.02	1.58	0.01	< 0.1
12.10.2005	11:00	12.10.2005	15:00	2.9	0.3	15.7	1.6	4.0	0.4	41.3	3.8	0.30	0.02	1.57	0.01	< 0.1
12.10.2005	15:00	12.10.2005	19:00	3.1	0.4	14.4	1.5	4.2	0.4	50.2	4.5	0.37	0.02	1.58	0.01	< 0.1
12.10.2005	19:00	12.10.2005	23:00	3.1	0.4	14.7	1.5	3.4	0.3	43.4	3.9	0.34	0.02	1.67	0.01	< 0.1
12.10.2005	23:00	13.10.2005	03:00	2.9	0.3	13.5	1.4	2.5	0.3	41.1	3.8	0.33	0.02	1.59	0.01	< 0.1
13.10.2005	03:00	13.10.2005	07:00	2.6	0.3	12.4	1.3	3.9	0.4	41.8	3.8	0.42	0.02	1.63	0.01	< 0.1
13.10.2005	07:00	13.10.2005	11:00	2.5	0.3	12.6	1.3	2.1	0.2	33.5	3.1	0.32	0.02	1.60	0.01	< 0.1
13.10.2005	11:00	13.10.2005	15:00	2.5	0.3	12.6	1.3	4.2	0.4	30.9	2.9	0.31	0.02	1.61	0.01	< 0.1

Tab.5: Elementkonzentrationen der Ablauf-4h-Mischproben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Presswasser

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd	
		Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw [µg/L]	Konz. [µg/L]	StdAbw [µg/L]								
01.06.2005	11:45	<0.06		2.6	0.5	4.4	0.1	<1.0		0.25	0.03				
02.06.2005	11:15	0.06	0.03	1.1	0.1	5.9	0.1	8.6	0.2	0.29	0.03				
04.06.2005	11:30	0.06	0.02	2.5	1.1	1.2	0.1	4.4	0.4	0.17	0.03				
05.06.2005	11:30	0.09	0.02	2.7	1.1	0.4	0.1	<1.0		0.14	0.03				
08.06.2005	11:45	<0.06		22.6	0.3	4.1	0.1	6.9	0.2	0.10	0.04				
09.06.2005	11:00	<0.06		22.4	0.3	1.9	0.1	4.8	0.3	0.12	0.03				
10.06.2005	11:00	0.10	0.04	17.5	2.3	3.3	0.2	7.3	0.3	0.21	0.04				
10.10.2005	09:00	0.78	0.13	2.8	0.3	1.3	0.2	27.8	2.7	0.20	0.02	0.81	0.05	< 0.1	
11.10.2005	09:00	0.59	0.11	6.2	0.7	3.9	0.4	47.2	4.2	0.36	0.02	0.93	0.04	< 0.1	
12.10.2005	11:00	0.76	0.13	3.3	0.4	1.7	0.2	28.3	2.7	0.17	0.02	1.12	0.03	< 0.1	
13.10.2005	10:00	0.72	0.13	6.9	0.8	2.0	0.2	24.5	2.4	0.17	0.02	0.82	0.05	< 0.1	
14.10.2005	09:00	0.38	0.09	6.5	0.8	1.5	0.2	16.4	1.8	0.19	0.02	0.58	0.07	< 0.1	
15.10.2005	09:00	0.25	0.08	2.6	0.4	2.4	0.3	18.0	1.9	0.58	0.02	0.49	0.08	< 0.1	
16.10.2005	09:00	0.43	0.10	4.1	0.5	0.6	0.1	15.7	1.7	0.13	0.02	0.62	0.07	< 0.1	
17.10.2005	09:00	0.85	0.14	4.2	0.6	4.2	0.4	32.1	3.0	0.22	0.02	0.78	0.05	< 0.1	
18.10.2005	09:00	0.50	0.11	2.8	0.4	3.6	0.4	27.5	2.7	1.02	0.02	0.80	0.05	< 0.1	
19.10.2005	10:00	4.41	0.49	9.1	1.0	1.2	0.2	15.1	1.7	0.26	0.02	1.36	0.01	< 0.1	
14.02.2006	08:00	1.42	0.08	10.8	0.5	7.3	0.1	28.1	0.03	0.02	0.01	0.55	0.10	< 0.1	
15.02.2006	08:30	0.32	0.17	1.6	0.6	1.8	0.1	8.5	0.5	0.01	0.003	0.41	0.04	< 0.1	
16.02.2006	08:00	3.71	0.44	2.5	0.7	4.1	0.1	17.9	0.3	0.04	0.01	0.57	0.12	< 0.1	
17.02.2006	08:00	1.75	0.57	3.5	0.7	5.2	0.2	21.0	0.1	0.05	0.01	0.58	0.12	< 0.1	
18.02.2006	08:00	0.98	0.27	7.0	1.2	7.4	0.2	10.1	0.3	0.06	0.01	0.46	0.09	< 0.1	
19.02.2006	08:30	8.65	1.31	13.7	0.1	5.1	0.1	13.6	0.9	0.13	0.01	0.86	0.08	< 0.1	
20.02.2006	08:00	3.30	1.03	19.9	0.3	8.7	0.1	35.4	0.4	0.29	0.01	1.03	0.16	< 0.1	
21.02.2006	08:00	0.66	0.17	4.1	0.2	4.3	0.2	12.8	0.8	0.05	0.001	0.46	0.06	< 0.1	
22.02.2006	08:00	4.01	0.93	14.7	0.7	9.2	0.1	39.0	0.2	0.23	0.005	1.00	0.09	< 0.1	
23.02.2006	08:30	1.70	0.37	4.0	0.6	3.5	0.02	24.4	0.8	0.03	0.01	0.55	0.04	< 0.1	

Tab. 6: Elementkonzentrationen im Presswasser

Sandwaschwasser

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd	
		Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw
01.06.2005	15:30	1.2	0.1	29.2	12.0	3.4	3.4	<1.0		0.11	0.03				
02.06.2005	15:00	0.7	0.1	14.0	2.2	3.2	2.7	<1.0		0.14	0.03				
03.06.2005	15:00	2.4	0.2	29.5	18.9	3.3	4.2	<1.0		0.20	0.08				
04.06.2005	11:00	1.0	0.0	17.2	11.1	4.7	4.9	1.0	0.2	0.28	0.08				
06.06.2005	15:00	1.0	0.1	16.4	16.8	6.4	5.1	18.2	1.3	0.28	0.08				
08.06.2005	15:00	<0.06		1.6	0.9	0.6	0.2	<1.0		0.04	0.002				
10.06.2005	15:00	1.7	0.2	55.1	62.4	2.7	0.3	<1.0		0.16	0.08				
13.06.2005	15:00	1.1	0.1	9.6	1.9	3.9	5.2	<1.0		0.10	0.01				
10.10.2005	09:00	2.3	0.3	13.0	1.4	1.0	0.1	14.4	1.6	0.20	0.02	1.14	0.03	< 0.1	
11.10.2005	09:00	1.5	0.2	11.0	1.2	0.6	0.1	16.2	1.7	0.15	0.02	1.60	0.01	< 0.1	
12.10.2005	11:00	0.5	0.1	6.0	0.7	0.2	0.1	11.4	1.4	0.12	0.02	1.26	0.02	< 0.1	
13.10.2005	10:00	1.7	0.2	14.2	1.5	4.8	0.5	23.8	2.4	0.58	0.02	1.57	0.01	< 0.1	
14.10.2005	09:00	1.7	0.2	4.8	0.5	0.3	0.1	19.7	2.0	0.15	0.02	0.73	0.06	< 0.1	
15.10.2005	09:00	1.6	0.2	6.7	0.7	2.1	0.2	7.1	1.0	0.44	0.02	0.80	0.05	< 0.1	
16.10.2005	09:00	0.7	0.1	4.4	0.6	0.2	0.1	8.4	1.1	0.13	0.02	0.83	0.05	< 0.1	
17.10.2005	09:00	1.1	0.2	5.5	0.6	0.5	0.1	11.9	1.4	0.13	0.02	1.15	0.03	< 0.1	
18.10.2005	09:00	0.4	0.1	6.0	0.7	0.4	0.1	12.6	1.5	0.15	0.02	1.29	0.01	< 0.1	
19.10.2005	10:00	0.6	0.1	6.1	0.7	0.8	0.1	24.9	2.4	0.28	0.02	1.34	0.01	< 0.1	
14.2.2006	08:00	6.8	1.1	11.1	0.8	2.6	0.1	4.8	0.7	0.04	0.004	1.06	0.13	< 0.1	
15.2.2006	08:00	0.4	0.1	0.9	0.04	1.5	0.1	< 5		0.01	0.003	1.98	0.22	< 0.1	
16.2.2006	08:30	1.2	0.6	2.9	0.7	1.2	0.02	9.3	0.4	0.05	0.004	0.89	0.10	< 0.1	
17.2.2006	08:00	3.9	1.2	2.9	0.5	1.2	0.01	8.5	0.3	0.01	0.01	0.63	0.08	< 0.1	
18.2.2006	08:00	10.3	0.02	6.6	3.6	< 0.5		17.7	1.0	<0.05		0.31	0.05	< 0.1	
19.2.2006	08:00	1.4	0.2	12.3	4.8	1.2	0.04	59.2	0.8	<0.05		0.35	0.08	< 0.1	
20.2.2006	08:00	1.6	0.2	44.7	7.5	0.02	0.02	< 5		<0.05		0.36	0.09	< 0.1	
21.2.2006	08:00	1.8	0.4	9.5	2.8	< 0.5		< 5		<0.05		0.41	0.06	< 0.1	
22.2.2006	08:00	2.5	0.7	4.9	0.2	0.6	0.1	< 5		<0.05		0.55	0.09	< 0.1	
23.2.2006	08:00	5.8	0.1	2.2	0.4	0.5	0.03	1.8	0.5	0.15	0.01	0.43	0.10	< 0.1	
10.4.2006	09:30	2.2	0.4	5.7	0.7	1.1	0.1	< 5		0.02	0.01	1.03	0.16	< 0.1	
11.4.2006	10:00	1.2	0.7	9.9	0.9	0.9	0.04	< 5		0.07	0.01	0.81	0.05	< 0.1	
12.4.2006	11:00	1.9	0.1	6.4	5.5	0.1	0.02	< 5		<0.05		1.05	0.20	< 0.1	
13.4.2006	10:00	0.9	0.3	8.4	1.2	1.3	0.1	14.4	0.4	0.13	0.01	0.84	0.05	< 0.1	

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Pb		As		Cd	
		Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw	Konz. [µg/L]	StdAbw
14.4.2006	09:00	0.4	0.1	6.4	5.1	0.1	0.01	< 5		<0.05		1.30	0.16	< 0.1	
15.4.2006	09:00	3.9	0.4	2.0	0.1	0.05	0.03	< 5		<0.05		0.60	0.13	< 0.1	
16.4.2006	09:30	6.3	0.3	6.5	5.6	0.3	0.1	< 5		<0.05		3.49	0.60	< 0.1	
17.4.2006	09:00	2.5	0.6	4.7	0.6	2.1	0.1	< 5		0.05	0.003	0.33	0.05	< 0.1	
18.4.2006	11:00	0.9	0.2	5.6	4.6	< 0.5		< 5		<0.05		0.15	0.07	< 0.1	
19.4.2006	10:00	0.8	0.1	9.4	8.2	0.1	0.02	< 5		<0.05		0.31	0.11	< 0.1	

Tab. 7: Elementkonzentrationen im Sandwaschwasser (unsichere Werte, durchgestrichen)

Klärschlämme

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		As		As	Hg	LOI
		Konz.	StdAbw	Konz.	Konz.													
		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]	[µg/g]	Gew%
30.05.2005		143	9	109.1	19.8	187	4	610	24	1.1	0.19	79.6	3.77				1.1	58.2
02.06.2005	10:30	128	0.1	118.5	0.4	209	3	722	7	1.5	0.06	103.8	0.52			4.5	1.1	56.3
03.06.2005	10:00	173	2	117.6	6.1	226	25	733	2	1.7	0.16	104.9	5.78			4.5	0.6	53.6
06.06.2005		139	8	108.0	6.8	195	4	676	40	1.4	0.19	92.3	4.54			3.8	1.3	58.2
07.06.2005	12:30	125	2	86.6	4.9	182	5	630	0.5	1.2	0.19	81.7	4.17			3.4	0.9	61.3
09.06.2005	09:00	117	2	81.7	3.8	168	6	572	2	1.1	0.25	91.4	15.79			3.5	1.1	61.7
10.06.2005	09:00	155	13	117.6	9.7	171	4	620	8	1.0	0.19	75.0	3.69			3.5	1.2	59.0
13.06.2005	09:00	118	4	95.5	1.0	227	3	701	94	2.0	0.10	97.2	6.09			4.1	1.5	62.6
14.06.2005	11:30	144	1	107.2	2.9	226	8	688	93	1.8	0.06	103.3	1.12			3.9	1.5	58.7
20.06.2005	10:00	166	6	221.9	5.4	172	9	597	80	1.3	0.05	122.0	2.04			5.6	1.8	39.7
23.09.2005	09:00	86	5	67.1	0.7	161	0.4	644	15	0.9	0.01	49.6	0.06	3.8	0.3		1.1	54.5
27.09.2005	10:00	123	3	80.5	6.2	168	7	657	9	0.7	0.1	54.7	1.36	2.4	0.03		0.8	54.7
05.10.2005	12:00	123	4	82.6	2.7	169	1	648	14	0.8	0.2	50.0	0.36	1.9	0.01		0.9	54.0
13.10.2005	11:00	104	7	68.7	3.4	174	7	745	22	1.3	0.04	84.1	2.29	4.9	0.2		1.0	55.0
19.10.2005	10:30	112	1	68.9	2.0	179	7	756	7	1.3	0.03	94.6	0.27	4.5	0.1		1.1	53.1
27.10.2005	10:00	90	8	67.2	1.2	170	4	707	7	1.4	0.01	83.1	0.04	4.1	0.3		0.8	52.2
04.11.2005	11:00	85	2	54.7	0.7	180	5	727	35	1.9	0.34	86.5	8.23	8.1	2.7		1.0	54.3
10.11.2005	08:30	103	9	64.8	0.2	168	1	678	7	1.2	0.08	89.4	2.09	3.8	1.5		1.0	56.6
17.11.2005	08:30	93	4	60.2	1.0	170	4	682	4	1.2	0.10	84.5	0.02	2.8	0.3		1.4	54.2
25.11.2005	10:00	96	27	65.8	8.7	144	2	544	2	0.9	0.52	86.9	17.21	2.6	2.8		0.7	53.5
01.12.2005	10:00	64	4	49.5	1.0	159	1	590	11	1.0	0.02	65.3	0.84	3.8	0.3		1.0	57.8
08.12.2005	09:00	89	5	64.4	2.7	162	2	567	19	1.0	0.04	74.2	8.24	4.0	0.4		0.9	54.6
16.12.2005	10:00	60	3	41.7	0.6	170	1	623	2	1.1	0.1	61.2	0.50	6.1	1.2		1.0	58.8
22.12.2005	09:00	87	6	68.8	4.3	172	4	563	5	1.0	0.02	61.9	3.23	4.3	0.9		1.2	56.6
29.12.2005	09:30	79	8	56.5	1.9	201	9	696	37	1.1	0.1	68.2	1.33	3.5	0.5		0.9	48.0
07.01.2006	09:00	76	7	48.9	2.2	204	8	674	26	1.0	0.1	56.2	0.39	1.3	0.4		1.0	50.9
12.01.2006	10:00	79	7	50.0	1.6	202	6	666	20	1.0	0.1	53.5	0.33	1.0	0.3		0.7	53.0
19.01.2006	10:30	78	7	53.7	1.7	207	7	630	21	0.9	0.1	52.7	0.37	0.7	0.3		0.9	55.9
26.01.2006	09:00	83	9	50.5	1.6	203	6	638	21	0.9	0.1	51.0	0.73	0.5	0.1		0.8	54.9

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		As		Hg Konz. [µg/g]	LOI Gew%
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw												
		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]			
02.02.2006	14:00	100	20	55.9	7.9	201	6	648	22	0.9	0.1	49.4	0.13	0.3	0.2	0.8	51.1
09.02.2006	10:00	86	10	52.1	1.9	181	6	575	18	0.7	0.1	44.8	1.10	0.4	0.4	0.7	51.6
14.02.2006	09:00	69	15	57.9	4.3	182	4	611	8	1.1	0.1	51.1	1.74	4.8	0.7	1.6	49.3
17.02.2006	08:00	53	5	43.8	0.6	183	3	612	8	1.0	0.1	43.6	0.67	1.2	0.8	0.7	54.0
21.02.2006	09:00	47	5	42.5	0.6	185	3	601	9	1.0	0.1	40.2	1.81	1.2	0.7	0.7	54.6
28.02.2006	09:00	40	2	44.1	1.1	179	6	594	22	0.9	0.1	39.4	0.64	1.5	0.2	0.7	54.7
03.03.2006	09:30	44	2	49.0	3.4	187	3	631	20	0.8	0.1	41.0	0.29	1.1	0.1	0.8	55.6
07.03.2006	08:30	46	4	47.0	1.2	190	5	644	23	0.9	0.1	40.4	1.11	0.7	0.1	0.8	55.5
11.03.2006	10:00	51	2	53.2	1.2	185	3	640	19	0.9	0.1	40.7	0.49	4.4	0.6	1.1	53.2
14.03.2006	11:30	63	2	57.1	1.4	189	4	655	21	0.8	0.1	43.4	1.19	0.8	0.2	0.7	52.3
17.03.2006	08:00	63	5	59.0	1.4	196	4	705	21	1.1	0.1	45.0	0.55	1.0	0.3	0.8	51.3
21.03.2006	08:00	88	2	55.4	1.1	202	4	722	11	1.2	0.1	41.0	0.64	2.3	0.7	0.8	48.9
24.03.2006	09:00	103	2	63.7	0.6	208	3	741	13	1.2	0.1	42.9	0.65	2.2	0.7	0.8	48.2
27.03.2006	08:30	111	4	64.9	0.4	205	2	702	5	1.2	0.01	46.0	3.02	2.8	0.1	0.8	48.6
31.03.2006	09:00	117	1	75.7	1.0	223	30	713	9	1.0	0.1	43.0	0.79	2.1	0.8	0.6	46.2
05.04.2006	09:00	118	10	79.0	0.5	203	6	728	2	1.2	0.1	44.6	0.43	3.1	0.1	0.7	45.7
07.04.2006	09:30	126	4	82.5	0.7	202	2	710	9	1.0	0.1	43.3	0.12	2.3	0.7	0.8	48.6
11.04.2006	08:30	123	2	86.4	1.4	223	3	716	9	1.1	0.01	44.3	0.90	3.1	0.05	0.7	46.2
14.04.2006	10:00	113	7	80.8	1.6	216	2	710	9	1.1	0.1	43.3	0.07	2.0	0.7	0.7	46.1
18.04.2006	10:00	175	10	130.8	1.3	212	3	699	16	1.0	0.1	51.0	0.14	2.5	0.7	1.1	38.8
21.04.2006	09:00	116	19	85.3	2.0	229	2	725	10	1.0	0.1	42.0	0.16	2.1	0.7	0.8	49.2
25.04.2006	13:00	136	14	105.4	2.1	216	5	671	21	0.7	0.1	44.4	0.72	4.0	0.5	1.2	45.7
05.05.2006	08:00	87	20	77.3	1.4	210	4	660	20	1.0	0.2	39.7	0.27	2.6	1.9	0.9	50.2
09.05.2006	09:00	83	3	81.3	1.5	241	4	763	22	1.4	0.1	81.3	0.54	7.9	0.5	0.9	53.4
12.05.2006	10:00	90	6	87.3	2.5	253	9	841	36	1.8	0.1	103.6	3.24	11.1	0.8	0.9	50.5
18.05.2006	09:00	112	2	81.5	0.6	234	3	708	6	1.3	0.1	61.8	0.45	6.4	0.1	0.7	52.0
23.05.2006	09:00	84	9	85.4	3.2	244	6	787	32	1.7	0.1	99.4	1.62	10.4	0.6	0.9	51.3
06.06.2006	08:30	125	0	85.4	0.6	229	1	726	4	1.2	0.0	46.2	0.00	3.1	0.00	0.9	47.4
12.06.2006	09:00	107	21	78.0	15.6	217	43	739	148	0.4	0.2	68.5	13.69	5.6	1.1	1.3	49.0
19.06.2006	08:00	100	20	78.6	15.7	218	44	790	158	0.8	0.4	93.1	18.61	8.9	1.8	0.8	47.8

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		As		Hg Konz.	LOI Gew%
		Konz.	StdAbw														
		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]			
22.06.2006	10:00	93	19	72.6	14.5	206	41	751	150	1.3	0.7	91.1	18.21	8.3	1.7	1.0	49.6
27.06.2006	09:00	100	20	74.8	15.0	216	43	743	149	1.1	0.6	68.5	13.70	5.5	1.1	0.7	46.9
30.06.2006	09:00	95	1	74.5	0.7	217	1	772	9	1.7	0.05	78.2	0.42	7.6	0.6	0.9	48.8
04.07.2006	08:30	99	2	73.4	0.7	212	2	758	13	1.7	0.1	80.5	0.44	9.8	1.1	0.9	46.9
12.07.2006	13:00	98	0.5	71.3	2.3	216	16	716	18	1.6	0.1	72.6	1.97	8.1	0.1	2.1	50.0
19.07.2006	12:00	99	0.1	72.0	0.5	213	2	740	2	1.6	0.03	77.5	2.20	8.5	0.1	0.7	49.6
27.07.2006	14:00	75	15	57.2	11.4	194	39	624	125	0.9	0.5	57.9	11.58	4.6	0.9	1.2	49.8

Tab. 8: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm des RHV Leoben (unsichere Werte, durchgestrichen)

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		As	Hg	LOI
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	Konz.	
		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]	[µg/g]	Gew%
30.05.2005	09:00	164	6	134	29	189	5	615	24	0.8	0.3	78.3	2.1	4	1.18	57.7
30.05.2005	09:30	137	8	109	23	181	6	589	25	0.7	0.4	72.6	0.9	3	0.99	59.6
30.05.2005	10:00	120	14	103	20	165	6	575	50	0.6	0.2	68.4	3.2	3	1.18	61.8
30.05.2005	10:30	154	16	113	21	193	8	623	22	0.9	0.3	78.2	4.0	4	0.95	56.2
30.05.2005	11:00	155	2	106	16	187	1	612	12	1.2	0.3	76.9	1.0	3	1.10	56.3
30.05.2005	11:30	180	9	105	18	188	6	608	13	1.3	0.1	80.6	3.2	3	1.06	54.8
30.05.2005	12:00	131	7	102	17	190	4	600	20	1.3	0.2	77.7	6.4	4	0.97	57.4
30.05.2005	12:30	145	9	114	18	182	3	613	19	1.3	0.2	83.3	1.5	4	1.13	59.1
30.05.2005	13:00	145	5	117	19	216	6	684	24	1.7	0.1	97.1	4.0	4	1.23	55.5
30.05.2005	13:30	115	11	97	18	181	3	585	17	1.3	0.1	76.5	3.6	4	1.30	60.7
30.05.2005	14:00	128	14	100	19	183	2	604	36	1.4	0.1	85.9	11.5	3	1.36	61.5
06.06.2005	08:00	108	9	112	1	197	3	686	30	1.4	0.2	102.8	11.3	4	2.17	57.0
06.06.2005	08:30	149	8	115	10	187	4	673	14	1.3	0.3	92.5	5.2	4	1.63	57.5
06.06.2005	09:00	159	5	113	2	206	3	697	16	1.5	0.2	93.0	3.1	4	1.47	57.4
06.06.2005	09:30	158	8	116	9	197	7	697	7	1.5	0.2	92.6	7.0	4	1.04	58.5
06.06.2005	10:00	165	27	113	19	184	6	643	7	1.3	0.2	90.7	7.8	4	1.52	58.8
06.06.2005	10:30	114	11	112	13	185	3	669	23	1.3	0.3	99.4	3.4	4	1.12	56.8
06.06.2005	11:00	130	12	101	0.1	186	2	664	21	1.3	0.3	85.7	2.0	4	1.05	56.8
06.06.2005	11:30	167	0.5	102	0.1	214	0.3	754	18	1.5	0.1	100.2	0.3	4	1.01	57.9
06.06.2005	12:00	141	0.1	102	2	192	1	776	84	1.4	0.2	88.1	2.6	4	1.26	59.8
06.06.2005	12:30	153	5	116	10	207	4	706	27	1.5	0.3	86.9	4.3	3	1.18	57.7
06.06.2005	13:00	107	1	102	5	196	7	636	89	1.6	0.1	93.5	6.6	4	1.06	57.7
06.06.2005	13:30	130	15	95	1	193	5	596	89	1.6	0.1	87.5	2.4	4	1.10	60.5
06.06.2005	14:00	124	6	104	16	193	13	595	94	1.6	0.1	87.1	3.1	4	1.25	60.0

Tab. 9: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm des RHV Leoben (Intensivbeprobung, unsichere Werte, durchgestrichen)

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		As		As	Hg	LOI
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	Konz.	
		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]	[µg/g]	Gew%
03.06.2005		145	13	58	6	186	17	972	47	0.5	0.1	18	0.01	2.0	0.4		0.1	73.06
05.06.2005		142	12	53	5	91	7	445	34	0.4	0.1	12	1	1.2	0.1		0.1	75.59
06.06.2005		156	6	60	2	159	7	628	71	< 0.6		16	0.3			0.88	0.1	74.76
08.06.2005		141	5	62	1	110	2	556	3	0.3	0.04	15	0.3	2.4	0.1		0.1	70.56
09.06.2005		121	21	52	5	109	12	672	49	< 0.6		15	2			1.28	0.1	69.68
10.06.2005		116	21	43	7	96	15	619	76	< 0.6		13	3			1.01	0.1	70.56
13.06.2005		105	14	37	4	99	11	366	46	0.2	0.1	10	0.5	1.5	0.5		0.2	67.19
14.06.2005		87	1	30	0.4	82	2	677	13	0.2	0.03	10	0.1	1.3	0.1		0.2	72.83
15.06.2005		112	1	60	11	112	1	652	41	< 0.6		13	1			38.70	0.1	70.58
16.06.2005		103	3	48	1	100	2	564	2	0.4	0.01	12	0.1	33.7	0.2		0.1	77.66
12.10.2005	10:00	126	2	46	0.1	104	1	528	12	0.2	0.05	17	0.4	3.3	0.3		0.1	60.37
14.10.2005	09:00	135	6	52	0.3	114	0.04	612	3	< 0.05		17	2	< 0.5			0.2	63.38
18.10.2005	09:00	149	10	59	3	127	3	696	11	0.2	0.1	15	0.04	4.2	2.6		0.1	65.58
21.10.2005	09:15	109	4	39	4	111	2	578	13	0.2	0.1	13	0.1	0.9	0.2		0.1	75.90
27.10.2005	09:00	121	5	34	0.1	125	2	620	5	0.2	0.01	13	0.1	0.3	2.6		0.3	72.17
31.10.2005	10:45	133	1	45	0.0	126	0.1	697	6	0.0	0.1	16	0.1	< 0.5			0.2	67.08
03.11.2005	13:00	131	9	46	3	489	83	778	20	0.0	0.02	22	7	< 0.5			0.2	67.77
08.11.2005	09:30	119	1	41	1	103	1	561	1	< 0.05		13	0.2	< 0.5			0.1	69.86
10.11.2005	12:30	118	2	36	1	117	6	599	44	0.0	0.1	14	0.04	0.4	0.2		0.1	70.35
18.11.2005	09:40	540	15	53	4	171	2	629	10	0.1	0.01	34	4	< 0.5			0.1	67.01
24.02.2006	09:00	148	9	52	3	109	7	587	22	0.1	0.02	31	3				0.1	57.17
01.03.2006	11:15	118	8	36	2	98	3	373	13	0.0	0.02	9	1				0.1	68.58
08.03.2006	10:40	144	9	50	2	130	4	609	19	0.1	0.01	11	0.3				0.1	61.51
08.03.2006	09:30	153	10	77	3	151	5	698	21	0.1	0.01	14	0.5				0.1	60.51
08.03.2006	07:30	162	9	72	2	151	4	706	27	0.1	0.01	12	0.2				0.2	61.22
17.03.2006	07:30	145	9	48	2	128	4	578	19	0.2	0.1	14	1				0.1	60.67
22.03.2006	11:45	796	39	244	6	135	4	797	31	0.6	0.1	47	1				0.5	57.34
18.04.2006	10:45	141	9	42	1	89	3	368	14			12	0.2				0.1	65.79
18.04.2006	07:30	121	9	36	2	98	3	328	12	0.0	0.03	11	1				0.2	69.61
04.05.2006	14:00	170	8	52	1	132	5	705	19	0.2	0.1	22	1	1.3	0.6		0.5	72.17
05.05.2006	08:30	160	13	45	5	115	11	573	47	0.1	0.02	19	1	1.3	0.2		0.3	72.99
10.05.2006	09:00	276	19	83	6	108	9	541	34	0.2	0.04	21	1	1.0	0.8		0.1	70.58

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		As		As	Hg	LOI
		Konz. [µg/g]	StdAbw	Konz. [µg/g]	StdAbw	Konz. [µg/g]	StdAbw	Konz. [µg/g]	StdAbw	Konz. [µg/g]	StdAbw	Konz. [µg/g]	StdAbw	Konz. [µg/g]	StdAbw	Konz. [µg/g]	Konz. [µg/g]	Gew%
15.05.2006	10:00	132	11	41	3	93	8	488	31	0.0	0.02	22	1	0.8	0.8		0.5	61.50
19.05.2006	12:40	125	11	31	1	69	2	409	16	< 0.1		11	0.4	4.0	0.6		0.1	61.26
22.05.2006	08:30	136	5	40	2	96	5	523	14	0.2	0.1	14	1	0.6	0.6		0.2	61.39
02.06.2006	08:55	123	7	38	1	82	3	455	12	< 0.1		10	1	0.9	0.03		0.6	55.33
02.06.2006	10:10	112	3	31	1	63	2	397	11	< 0.1		10	0.4	0.9	0.00		0.1	58.72
14.06.2006	14:00	115	9	33	3	408	31	503	37	0.1	0.02	36	1	1.3	0.03		0.1	59.72

Tab. 10: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm aus Göß (unsichere Werte, durchgestrichen)

Datum	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		As		Hg	LOI
	Konz. [µg/g]	StdAbw	Konz. [µg/g]	Gew%												
17.11.2005	23	2	22	1	275	2	1104	16	0.6	0.1	34.0	1.0	2.3	0.6	0.9	67.5
17.11.2005	55	1	65	2	198	6	877	16	0.5	0.02	40.5	6.3	8.3	0.6	1.9	71.0
17.11.2005	52	9	66	3	210	8	876	18	0.5	0.03	38.2	5.0	7.5	0.3	1.6	71.3
06.04.2006	55	9	73	13	172	6	667	23	0.3	0.1	23.6	1.2	2.8	0.4	0.6	71.9
06.04.2006	16	3	62	1	174	5	689	13	0.6	0.1	24.9	0.2	7.0	0.9	0.5	72.4
06.04.2006	15	3	59	1	175	3	675	13	0.5	0.1	23.8	0.1	6.0	0.8	0.5	72.5

Tab. 11: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm aus St. Lorenzen

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		As		Hg	LOI
		Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	StdAbw	Konz.	
		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]	Gew%
03.06.2005		51	1	65	1	206	1	907	13	0.9	0.1	43.4	0.6	3.6	0.5	1.0	73.19
09.06.2005		71	8	75	13	210	32	898	98	1.3	0.4	42.6	0.5	6.3	1.2	1.2	66.39
21.06.2005		46	13	55	7	201	28	844	115	0.9	0.4	50.4	4.1	4.2	0.4	1.2	69.69
13.10.2005	09:00	45	29	31	0.3	382	8	1152	4	0.4	0.04	36.5	0.8	0.5	0.1	0.9	76.70
21.10.2005	09:15	26	3	22	1	271	10	1101	42	0.3	0.04	33.2	2.5	< 0.5		1.7	80.69
31.10.2005	09:30	33	13	27	1	238	5	924	28	0.4	0.01	31.6	1.1	< 0.5		2.8	75.27
13.02.2006	09:00	20	13	66	3	196	5	874	19	0.6	0.1	34.0	0.5	4.5	0.6	0.9	78.77
22.02.2006	10:00	4	3	40	1	192	3	749	10	0.5	0.1	39.9	2.8	1.3	0.1	1.0	77.19
02.03.2006	09:30	75	12	104	3	252	5	1135	24	0.9	0.1	43.3	0.4	2.0	0.7	1.0	67.92
28.04.2006	10:00	66	6	105	8	185	14	751	52	0.6	0.05	43.6	0.7	2.3	0.9	1.1	63.13
09.05.2006	08:45	76	5	115	8	211	16	904	61	0.6	0.04	55.3	0.8	2.6	0.9	1.0	58.67
09.05.2006	12:00	76	6	103	7	209	16	927	61	0.7	0.04	52.4	0.8	2.4	0.9	1.1	59.95

Tab. 12: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm aus Aflenz (unsichere Werte, durchgestrichen)

Datum	Zeit	Cr		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		As		Hg	LOI
		Konz.	StdAbw	Konz.													
		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]	Gew%
04.06.2005		94	5	87	0.1	148	13	721	15	0.8	0.1	50	1	8.5	0.02	1.5	70.32
06.06.2005		71	10	104	4.2	107	5	660	28	0.7	0.03	43	4	8.7	1.1	0.8	71.06
07.06.2005		89	6	92	10.1	114	2	693	4	0.8	0.1	43	0.3	8.6	0.5	0.7	67.68
24.10.2005	09:45	154	7	123	12.7	114	10	857	22	0.3	0.1	59	4	4.0	0.7	1.1	47.21
24.10.2005	11:45	158	4	117	5.9	114	9	837	45	0.4	0.01	69	15	7.3	4.4	1.1	52.13
27.10.2005	08:00	161	30	127	5.2	124	17	890	26	0.2	0.02	65	1	3.4	0.1	3.2	46.13
01.03.2006	14:15	35	3	59	0.8	122	2	886	12	0.7	0.1	43	1	5.0	0.7	0.7	67.89
01.03.2006	16:30	51	13	91	1.8	146	3	1018	15	0.8	0.1	44	0.3	4.8	0.7	1.1	68.54
03.04.2006	09:15	45	3	72	1.6	131	2	918	13	0.7	0.1	41	1	4.5	0.7	0.9	69.54
10.05.2006	10:30	107	8	94	7.0	169	13	1213	82	1.2	0.1	50	1	6.1	1.0	1.4	67.14
15.05.2006	08:30	90	7	107	8.1	151	12	1077	72	0.7	0.05	44	1	4.6	1.0	0.7	66.50
01.06.2006	13:00	86	7	93	7.0	152	12	1095	74	0.8	0.1	48	1	6.3	1.0	0.8	65.22

Tab. 13: Elementkonzentrationen und Glühverlust (LOI) im Klärschlamm aus Mautern

Röntgenfluoreszenzanalysen

Datum	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Gesamt	LOI
KS 020605	1,05	6,10	11,78	27,06	0,87	26,74	0,41	0,90	9,72	84,63	56,31
KS 030605	1,41	5,81	11,86	27,21	0,88	26,00	0,41	0,86	9,02	83,46	51,17
KS 060605	0,89	5,74	12,11	24,06	0,84	27,43	0,40	0,93	9,57	81,97	58,19
KS 100605	0,84	6,87	11,10	27,76	0,85	26,54	0,44	0,81	9,65	84,86	59,02
KS 230905	1,39	4,31	12,81	24,88	1,28	29,08	0,52	0,67	7,43	82,37	52,34
KS 131005	1,42	4,29	12,56	24,56	1,22	28,79	0,56	0,79	8,51	82,70	52,59
KS 171105	1,37	3,66	10,03	21,06	0,91	34,36	0,47	1,03	8,87	81,76	52,11
KS 221205	3,28	3,74	9,14	22,99	0,90	32,55	0,46	0,91	9,39	83,36	54,23
KS 190106	1,57	3,83	10,65	20,86	0,86	31,09	0,44	0,86	9,49	79,65	60,54
KS 090206	2,26	3,60	9,10	23,19	0,77	32,01	0,40	1,02	9,13	81,48	57,29
KS 170306	2,33	3,97	9,63	21,50	0,82	29,95	0,39	0,89	8,82	78,30	56,31
KS 140406	1,75	4,92	10,31	20,18	0,85	30,64	0,38	0,83	8,58	78,44	53,21
KS 230506	2,20	5,18	10,66	19,56	0,80	29,59	0,39	0,86	8,81	78,05	57,15
KS 300606	2,38	5,01	12,06	20,45	0,98	29,16	0,42	0,85	9,11	80,42	55,15
KS 120706	2,18	4,78	11,83	20,92	0,99	29,02	0,41	0,84	8,95	79,92	55,51

Tab. 14: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Klärschlämme Leoben (%) bezogen auf den Glührückstand, Schwefel und Phosphor liegen außerhalb des Kalibrationsbereichs und werden hier nicht dargestellt.

Datum	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Gesamt
KS 020605	0,45	2,66	5,14	11,82	0,38	11,68	0,18	0,39	4,24	36,94
KS 030605	0,68	2,83	5,78	13,28	0,42	12,69	0,19	0,41	4,40	40,68
KS 060605	0,36	2,36	4,98	9,90	0,34	11,29	0,16	0,38	3,94	33,71
KS 100605	0,34	2,81	4,54	11,37	0,35	10,87	0,18	0,33	3,95	34,74
KS 230905	0,66	2,05	6,10	11,85	0,61	13,85	0,24	0,32	3,54	39,22
KS 131005	0,67	2,03	5,95	11,64	0,57	13,65	0,26	0,37	4,03	39,17
KS 171105	0,65	1,75	4,80	10,08	0,43	16,45	0,22	0,49	4,25	39,12
KS 221205	1,49	1,71	4,18	10,52	0,41	14,89	0,20	0,41	4,29	38,10
KS 190106	0,61	1,51	4,20	8,23	0,34	12,26	0,17	0,33	3,74	31,39
KS 090206	0,96	1,53	3,88	9,90	0,32	13,67	0,17	0,43	3,89	34,75
KS 170306	1,01	1,73	4,20	9,39	0,35	13,08	0,17	0,38	3,85	34,16
KS 140406	0,82	2,30	4,82	9,44	0,39	14,33	0,17	0,39	4,01	36,67
KS 230506	0,94	2,22	4,56	8,37	0,34	12,67	0,16	0,36	3,77	33,39
KS 300606	1,06	2,24	5,40	9,17	0,44	13,07	0,19	0,38	4,08	36,03
KS 120706	0,97	2,12	5,26	9,30	0,44	12,90	0,18	0,37	3,98	35,52

Tab. 15: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Klärschlämme Leoben (%) bezogen auf die Trockenmasse, Schwefel und Phosphor liegen außerhalb des Kalibrationsbereichs und werden hier nicht dargestellt.

Datum	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Gesamt	LOI
G 090605	3,17	1,36	5,44	79,34	1,37	2,74	0,28	0,03	1,93	95,66	69,68
SL 171105	1,37	3,82	23,73	35,02	1,33	9,07	0,62	0,17	4,21	79,34	68,85
M 241105	1,02	6,30	9,54	36,77	1,50	8,87	0,67	0,18	20,26	85,11	48,21
A 311005	1,02	4,63	12,83	37,59	1,83	19,10	1,17	0,16	4,94	83,27	76,76

Tab. 16: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Fremdschlämme (%) Göss (G), St. Lorenzen (SL), Mautern (M) und Aflenz (A) bezogen auf den Glührückstand, Schwefel und Phosphor liegen außerhalb des Kalibrationsbereichs und werden hier nicht dargestellt.

Datum	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Gesamt
G 090605	0,95	0,41	1,64	24,05	0,41	0,83	0,08	0,01	0,58	28,96
SL 171105	0,31	0,88	5,51	8,13	0,31	2,10	0,14	0,04	0,97	18,39
M 241105	0,52	3,26	4,93	19,04	0,77	4,59	0,34	0,09	10,49	44,03
A 311005	0,31	1,44	3,99	11,70	0,56	5,94	0,36	0,05	1,54	25,89

Tab. 17: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse der Fremdschlämme (%) bezogen auf die Trockenmasse, Schwefel und Phosphor liegen außerhalb des Kalibrationsbereichs und werden hier nicht dargestellt.

VERÖFFENTLICHUNGEN

DepoTech 2006, Leoben

Chemische Untersuchungen an Klärschlamm und Abwasser einer industriell geprägten Kleinstadt (Leoben, Österreich) zur Identifikation vermeidbarer und unvermeidbarer Schadstoffquellen

Windisch, T., Rantitsch G. & IVUS-Projektgruppe (Reinhofer, M., Diebold, W., Scholger, R., Meisel, T., Runge, B., Gössler, W., Stetina, A.), Prochaska, W., Bechtel, A., Gratzner, R.

Ein signifikanter Anteil an anthropogenen Emissionen von Schwermetallen wird im kommunalen Abwasser gesammelt. Neben den für kommunales Abwasser spezifischen Eintragsquellen, wie Haushalte, Kleingewerbe, Dachwässer und Straßenabwässer, kommen für den Klärschlamm auch zahlreiche Indirekteinleiter, die Deposition, insbesondere aus der Schwerindustrie und die geologische Hintergrundbelastung der Region als Belastungsquellen in Frage. Obgleich die Schwermetallbelastung von Klärschlamm in vielen Arbeiten beschrieben wurde, ist nach dem derzeitigen Wissensstand eine Zuordnung der vorhandenen Schwermetallanreicherungen im Klärschlamm zu den einzelnen angeführten Quellen nicht direkt möglich, damit sind auch zielgerichtete Vermeidungsmaßnahmen derzeit nicht durchführbar.

Ziel dieser Studie ist es daher, in einer industriell geprägten Kleinstadt (Leoben) eine qualitative Zuordnung der unterschiedlichen Eintragsquellen zur Schwermetallbelastung zu finden und in der Folge Abschätzungen über den quantitativen Beitrag der einzelnen Quellen zu treffen. Darauf basierend sollen gezielt Maßnahmen zur Minimierung von vermeidbaren Schwermetallbelastungen im Klärschlamm ausgearbeitet werden. Um die Dynamik des betrachteten Systems besser zu verstehen wird hier ein breiter methodischer Ansatz, der neben der konventionellen Schwermetallanalytik (ICP-MS) auch die ionenchromatographische Analyse ausgewählter Anionen (F, Br, NO₃, Cl, SO₄, PO₄) sowie organisch geochemische Untersuchungen umfasst, angewendet. Die Arbeiten erfolgen durch die durch externe Mitarbeiter (A. Bechtel, R. Gratzner, Montanuniversität Leoben) ergänzte IVUS (Identifikation vermeidbarer und unvermeidbarer Schadstoffquellen am Beispiel der Kläranlage Leoben und ihres Einzugsgebietes) Projektgruppe (M. Reinhofer, Institut f. Nachhaltige Techniken und Systeme des Joanneum Research, Graz; W. Diebold Zivilingenieur für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Judenburg; G. Rantitsch, R. Scholger, W. Prochaska, Th. Meisel, B. Runge, Montanuniversität Leoben; W. Gössler, Universität Graz, A. Stetina, Kläranlage Leoben).

Detailuntersuchungen zeigen, dass durch die anaerobe Behandlung der Schlämme die Schwermetallgehalte innerhalb eines Tages nicht signifikant variieren. Daher können Tagesstichproben zur Rekonstruktion einer statistisch signifikanten Zeitreihe herangezogen werden. Die derzeit geltenden Grenzwerte der Schwermetalle im Klärschlamm werden eingehalten. Allerdings zeigen sich saisonale Variationen der Daten, die durch Prozesse im

Einzugsgebiet sowie durch technische Veränderungen im Klärprozess erklärt werden können. Der Vergleich von unbehandelten zu behandelten Klärschlämmen zeigt für die meisten Elemente die erwartete Anreicherung von Schwermetallen im behandelten Klärschlamm. Ein davon abweichendes Verhalten muss durch einen zusätzlichen Eintrag im Einzugsgebiet erklärt werden.

Die Fraktionen der Kohlenwasserstoffe (gesättigte KW, aromatische KW) im behandelten Klärschlamm machen zwischen 0,21 und 0,50 Gew% der Trockensubstanz aus, wobei die gesättigten Kohlenwasserstoffe dominieren. Die Analyse der molekularen Zusammensetzung der KW mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie lieferte relative hohe Gehalte an langkettigen *n*-Alkanen mit einer Bevorzugung ungeradzahligter Homologen. Diese Substanzen entstammen den Blattwachsen höherer Landpflanzen und sind offenbar biologisch schwer abbaubar. Daneben treten Hopane mit 27 bis 33 Kohlenstoffatomen auf. Hopane sind typische Bestandteile der Zellmembran von Bakterien. Allerdings weist das Verhältnis der S zu (S+R) Isomere der $\alpha\beta$ C₃₁ Hopane von 0,57 (nahe dem thermischen Gleichgewicht von 0.60) auf eine Herkunft aus Produkten der Erdölindustrie (z.B. Schmiermittel) hin. Die linearen Alkylbenzole (LAB) zusammen mit der Mehrzahl der Alkylcyclohexane sind auf Bestandteile aus Waschmitteln (Lineare Alkylbenzol-Sulfanate = Anionische Tenside) zurückzuführen. Ferner wurden in den Aromaten die Diterpene Tetrahydroreten, Reten und untergeordnet Simonellit nachgewiesen. Die genannten Verbindungen sind Bestandteile von Koniferenharzen, deren Auftreten im Klärschlamm auf Abwässer aus der Holzverarbeitung zurückzuführen ist. Polyzyklische aromatische KW (PAK) treten in geringen Konzentrationen (< 5 ppm) im Klärschlamm auf. Diese Verbindungen entstehen bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe und Holz (Hausbrand).

Die Beziehung zwischen den Elementgehalten im ungereinigten Abwasser und den Durchflussmengen lässt auf ein Dreikomponentensystem Rückschließen. Darin variiert das Verhalten der Schwermetallquellen, die Lösungskapazität des Wassers und die Durchflussmenge im Kanalsystem.

Analytica Conference 2006, München

Sequentielle chemische Extraktion an Klärschlämmen der Kläranlage Leoben/A

Runge, B., Meisel, T., Rantitsch, G., Windisch, T., Leoben/A

Klärschlämme kommunaler Kläranlagen enthalten neben organischen Verbindungen und Nährstoffen auch große Mengen an organischen und anorganischen Schadstoffen. Eine attraktive Alternative zur Deponie oder Verbrennung solcher Abfallstoffe ist aufgrund der hohen Gehalte an N und P die Aufbringung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen. Die Anwendung von Klärschlämmen als Düngemittel ist jedoch in hohem Maße problematisch, da diese stellenweise sehr stark mit toxischen Schwermetallen belastet sind. Diese können, insbesondere durch sauren Regen, mobilisiert werden, wodurch ihre Bioverfügbarkeit - durch Transport ins Grundwasser sowie Aufnahme durch Pflanzen - erhöht wird. Dies führt letztlich zur Akkumulation von Schwermetallen in der Nahrungskette.

Um die in Klärschlämmen enthaltenen Schwermetalle in Lösung zu bringen und somit einer analytischen Messung zugänglich zu machen, können diverse mikrowellen-unterstützte Aufschluss- und Extraktionsmethoden eingesetzt werden. Die durch diese Prozeduren erhaltenen Gesamtmetallgehalte sagen jedoch nichts über das Bindungsverhalten der Schadstoffe in den Klärschlämmen aus. Zur Einschätzung des Mobilisierungsverhaltens von Schwermetallionen aus Klärschlämmen sind sequentielle chemische Extraktionsverfahren mit einer definierten Abfolge von Behandlungsschritten notwendig, bei denen die chemischen Bedingungen durch Variation des pH-Wertes bzw. Einsatz von Reagenzien mit unterschiedlichen reduzierenden oder oxidierenden Eigenschaften zunehmend verschärft werden. Die Kenntnis dieses Mobilisierungsverhaltens lässt gewisse Rückschlüsse auf die Bioverfügbarkeit der Schwermetalle und somit auch auf das ökotoxische Potential von kontaminierten Klärschlämmen für Mensch und Umwelt zu.

Zur Einschätzung des durch Schwermetalle hervorgerufenen Gefahrenpotentials einiger Klärschlämme der Kläranlage Leoben/A wurden diese einer sequentiellen chemischen Extraktion unterzogen. Die Überprüfung des Extraktionsverfahrens erfolgte anhand eines zertifizierten Referenzmaterials. Die Messung der Schwermetallgehalte erfolgte anschließend mittels ICP-MS.

ANAKON 2007, Jena

Sequentielle chemische Extraktion von Chrom und Nickel an Klärschlämmen der Kläranlage Leoben/A

Runge, B., Meisel, T., Windisch, T., Leoben/A

Eine attraktive Alternative zur Deponie oder Verbrennung von Klärschlämmen kommunaler Kläranlagen ist aufgrund der hohen Gehalte an N und P die Aufbringung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen. Die Anwendung von Klärschlämmen als Kompostrohstoff ist jedoch in hohem Maße problematisch, da diese stellenweise sehr stark mit toxischen Schwermetallionen belastet sind. Diese können, insbesondere durch sauren Regen, mobilisiert werden, wodurch ihre Bioverfügbarkeit – durch Transport ins Grundwasser sowie Aufnahme durch Pflanzen - erhöht wird. Dies führt letztlich zur Akkumulation von Schwermetallen in der Nahrungskette.

Der Reinhaltungsverband Leoben betreibt seit 1997 eine Klärschlammkompostierungsanlage. Der hierfür verwendete Klärschlamm enthält jedoch teilweise recht hohe Gehalte an Chrom und Nickel. Eine Zuordnung zu bestimmten Belastungsquellen ist derzeit jedoch nicht möglich. Damit sind auch zielgerichtete Vermeidungsmaßnahmen bislang nicht durchführbar. Es besteht jedoch die Vermutung, dass die außergewöhnliche geologische Beschaffenheit der Region bzw. der während der Wintersaison eingesetzte Streusplitt einen wesentlichen Beitrag zum Schwermetalleintrag liefern. Dieses Material stammt aus den ca. 20 km entfernten, flussaufwärts von Leoben an der Mur liegenden Hartsteinwerken in Preg und besteht aus stark chrom- und nickelhaltigem Serpentin.

Zur Beurteilung, ob die hohen Chrom- und Nickelgehalte in den Klärschlämmen durch die geologische Hintergrundbelastung in der Region Leoben bzw. die Verwendung des Straßensplitts verursacht werden, wurden einige Klärschlämme der Kläranlage Leoben einem sequentiellen chemischen Extraktionsverfahren unterzogen. Die Validierung des Extraktionsverfahrens erfolgte anhand zertifizierter Referenzmaterialien. Die Messung der Schwermetallgehalte erfolgte anschließend mittels ICP-MS. Erste Versuche zeigen, dass Chrom und Nickel in den untersuchten Klärschlämmen zu 60 bzw. 30 % residual gebunden vorliegen.

33rd International Geological Congress 2008 (im Druck), Oslo

Origin and fate of heavy metals in an urban area (Leoben, Austria) as traced by chemical and magnetic investigations of sewage sludge and water

Rantitsch, G., Gaisberger, E., Scholger, R., Windisch, T., Runge, B., Meisel, T., Prochaska, W., Gratzner, R., Leoben/A

To understand the sources of contaminants to urban particulates, and to predict the mobility and impact of these contaminants in urban systems, detailed geochemical and mineralogical information is needed. Integrated geochemical and mineralogical analysis of urban particle composition has not been thoroughly pursued and the fate of such sediments in the urban environment is not well archived. Therefore, the understanding of the sources, environmental reactivity and the overall impact of urban sediments on both health and the environment is limited. This gives the motivation to investigate the accumulation and dispersion of heavy metals during the wastewater treatment process in a wastewater treatment plant of a regional urban centre (Leoben, Austria), which includes also an input from small enterprises and industrial sources.

Metal concentrations were measured by ICP-MS and AAS, both in the influent and the effluent water, as well as in the dewatered sludge. Some selected sludge samples were characterized by organic geochemical methods (GC-MS). Magnetic characterizations of the mineral phases were carried out on selected samples. Mineralogical examinations were performed by reflected-light microscopy, scanning electron microscopy and microprobe analysis. The results suggest that the heavy metal accumulation during the wastewater treatment process is controlled by anthropogenic and industrial processes in the hinterland of the wastewater treatment plant. Organic geochemical studies of sewage sludge samples detect the contribution of lubricants, tensides and residuents from the forest industry. A sequential chemical extraction assesses the bioavailability of pollutants in sewage sludge. The results demonstrate that the elements Cr, Ni, and Pb are bounded in the residual fraction of the sewage sludge and indicate therefore a low degree of bioavailability.

The major part of the heavy metal load of the wastewater is bounded to the particulate phase. The distribution of individual metals between the particulate and dissolved phase of the wastewater shows a predominantly particulate binding ($>0,2\mu\text{m}$) for the elements As, Cr, Co, Pb, Sn, Cu, Zn, Sb and Ni in the influents. Lower partition coefficients characterise the effluents. In the influents, the relation between the elemental concentrations and the flow rate suggests a three-component-system, involving the variation of the heavy metal supply, the capability of water to dissolve them, and the flow rate within the wastewater treatment plant. Heavy metals are bounded to the magnetic fraction (prevalently magnetite and hematite) of the individual samples, consisting solely of anthropogenic particles.

The achieved results demonstrate that magnetic analysis in combination with mineralogical and chemical analyses provides a promising way to trace and map the dissipation of heavy metals in an urban environment.