

EAWAG – INFOTAG: Umweltarchive – Ordnung und Chaos

Die Umwelt ist in ständigem Wandel begriffen. Klimaänderungen, Naturkatastrophen und ähnliche Schreckensmeldungen werfen die Frage auf, inwieweit der Mensch dafür verantwortlich ist. Natürliche und vom Menschen verursachte Ablagerungen sind Zeugen der Vergangenheit und zeigen uns Möglichkeiten umweltgerechter Ressourcennutzung für die Zukunft. Der diesjährige Infotag der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz EAWAG vom 20. September 1994 stand unter dem Thema «Umweltarchive – Ordnung und Chaos». In diesem

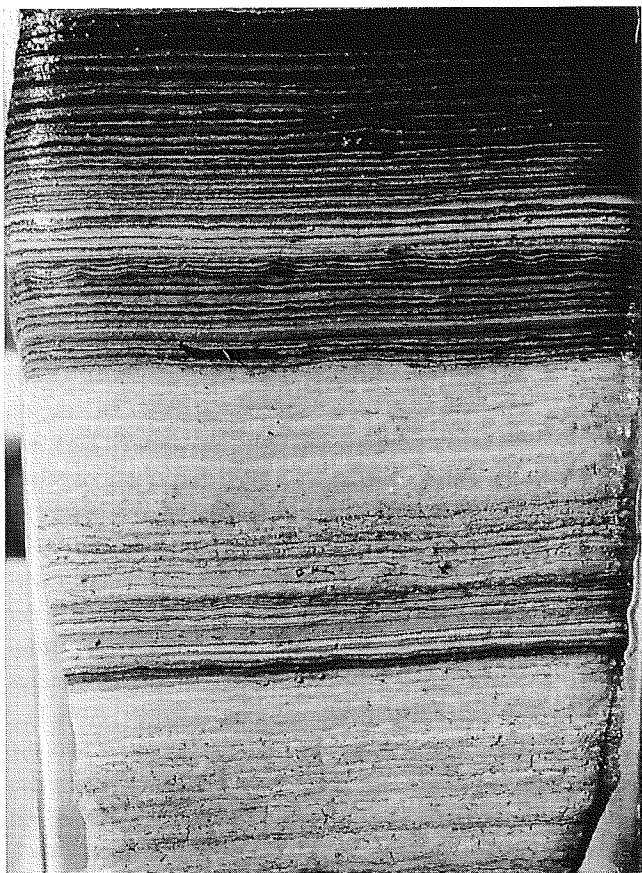


Abb. 1. Ordnung: *Ablagerungen in Seen*. In den Schichten von Seesedimenten sind viele Informationen vergangener Entwicklungen gespeichert. Der Farbwechsel von hell zu dunkel zum Beispiel kennzeichnet die zwei verschiedenen Seezustände, nährstoffreich und nährstoffarm.

Rahmen widmete sich die EAWAG der Interpretation von Ablagerungen jüngerer und älteren Datums. Dabei wurden Resultate der naturwissenschaftlichen Analyse von Sedimenten (Abb. 1) und Abfalldeponien (Abb. 2) mit Fragestellungen der Praxis verknüpft und in einen gesellschaftlichen Zusammenhang gebracht.

Nachfolgend die Zusammenfassungen von vier Vorträgen, die sich besonders mit dem Thema «Umweltarchive» befassen.



Abb. 2. Chaos: *Ablagerungen in Deponien*. Im Gegensatz zum regelmässig geschichteten Seesediment hat Kehrichtschlacke eine chaotische Struktur. Diese wird durch das bunte Gemisch von Abfällen und den Verbrennungsprozess hervorgerufen. Die scheinbare Unordnung lässt sich mit Kenntnissen und Methoden der Geologie genauso interpretieren wie bei natürlichen Ablagerungen.

Klimainformationen aus polaren Eiskernen. Sonnenaktivität und Klimavariationen der letzten 250 000 Jahre

Jürg Beer & Stephan Baumgartner

Das Wetter wird sehr stark durch die kurzfristigen wohlgeordneten Bewegungen der Erde um ihre eigene Achse (Tagegang) sowie um die Sonne (Jahresgang) bestimmt. Längerfristige Störungen der Erdbahnparameter durch die übrigen Planeten sind ebenfalls über Jahrtausende exakt berechenbar und führen nach der Theorie von Milankovic zu Klimaänderungen mit Perioden von ca. 100 000, 40 000 und 20 000 Jahren. Demgegenüber zeigen lokale Wetterentwicklungen ein chaotisches Verhalten und sind auch mit den besten Computermodellen nicht auf mehr als ein paar Tage verlässlich voraussagbar.

Mit der industriellen Revolution in diesem Jahrhundert hat sich eine völlig neuartige Situation ergeben. Während bisher Klimaänderungen als natürliche Prozesse zu betrachten waren, so stellt sich jetzt plötzlich die Frage, ob durch die immer stärkeren Eingriffe des Menschen in die Umwelt nicht auch das Klima langfristig beeinflusst wird mit all den negativen Folgen, die mit jeder abrupten Änderung der Umweltbedingungen verknüpft sind. Ein typisches Beispiel für wesentliche Eingriffe des Menschen in natürliche Systeme sind Störungen der geochemischen Kreisläufe. So werden z. B. durch die intensive Nutzung fossiler Brennstoffe grosse Mengen von CO₂ in die Atmosphäre abgegeben, die zu einem deutlichen globalen Anstieg dieses treibhausaktiven Gases führt, wie die Messungen auf Mauna Loa zeigen. Ebenfalls werden durch den Menschen immer mehr neue natürlich nicht vorkommende chemische Verbindungen hergestellt und auch in Deponien gelagert, deren langfristiges Verhalten in der Umwelt nicht oder nur ungenügend bekannt ist.

Damit stellen sich zwei grundsätzliche Fragen. Führen solche menschliche Tätigkeiten zu Klimaänderungen und falls ja, wie kann man sie von natürlichen Änderungen unterscheiden? Neben diesen grundsätzlichen gibt es aber auch ganz praktische Fragen. Geht man davon aus, dass als Folge menschlicher Aktivitäten (Treibhauseffekt) das Klima sich erwärmt, so muss auch mit einer Zunahme extremer Niederschlagsereignisse und damit verbunden mit vermehrten Hochwässern, Lawinen, Berggrutschen und andern negativen Konsequenzen gerechnet werden. Allerdings verhält sich das Klimasystem, wie bereits erwähnt, chaotisch und Prognosen sind deshalb schwierig.

Wie kann man feststellen, ob die zurzeit beobachtete globale Erwärmung anthropogen bedingt ist, oder ob es sich lediglich um eine natürliche Schwankung handelt? Ein Ansatzpunkt besteht darin, durch eine Vielzahl von direkten Messungen und der Modellierung der beteiligten physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse das heutige Wettergeschehen möglichst realistisch zu beschreiben und zukünftige Entwicklungen zu simulieren. Die Schwierigkeit besteht, wie schon erwähnt, in der ausserordentlichen Komplexität und den chaotischen Eigenschaften des Klimasystems.

Ein weiterer komplementärer Ansatzpunkt, der vor allem auch zur Klärung der Frage anthropogener Klimaänderungen einen wesentlichen Beitrag leisten kann, ist die Rekonstruktion des Klimas und seiner Variabilität zu vorindustriellen Zeiten, als der Einfluss des Menschen noch mit Sicherheit vernachlässigbar war.

Informationen über die Klimageschichte können entweder über direkte und indirekte menschliche Aufzeichnungen sowie aus natürlichen Archiven gewonnen werden. Seit die Menschen beständige Schriftzeichen verwendet haben, gibt es vereinzelte Aufzeichnungen über das Wetter aber auch über z. B. Ernteerträge, die bis zu einem gewissen Grade Klimaänderungen widerspiegeln. Zusätzlich zu diesen menschlichen Informationen stellt uns die Umwelt auch natürliche Archive zur Verfügung, deren Informationsgehalt wir mit immer empfindlicheren Methoden immer besser zu entschlüsseln gelernt haben. Ein wichtiges Archiv stellen z. B. Seesedimente dar, die kontinuierlich durch absinkende Partikeln gebildet werden. Art, Grösse und Zusammensetzung der Partikeln sowie eingelagerte biologische Strukturen reflektieren die Umweltbedingungen, die zur Zeit der Sedimentbildung geherrscht haben (Beitrag Sturm & Lotter; Abb. 1).

Auf hohen Gebirgen und in polaren Gebieten, wo die Temperatur das ganze Jahr hindurch immer unterhalb des Gefrierpunktes liegt, bleibt der Schnee Jahresschicht um Jahresschicht liegen und bildet langsam durch den Druck neuer Schichten das Archiv Eis. Im Eis eingeschlossen sind damit Proben aller festen, flüssigen und sogar gasförmigen Bestandteile der Atmosphäre. Untersuchungen an Gasblasen im Eisbohrkern von Vostok (Antarktis) zeigen, dass zwar der Gehalt der Treibhausgase CO₂ und CH₄ in der Atmosphäre

über die letzten 150 000 Jahre geschwankt hat, dass aber bei weitem nie solch hohe Konzentrationen aufgetreten sind, wie wir sie heute messen!

Informationen über vergangene Temperaturen können aus der Messung des Isotopenverhältnisses $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ im Eis gewonnen werden, das sich als Folge von temperaturabhängigen Fraktionierungseffekten bei der Kondensation von Wasserdampf ändert. Die hochaufgelösten $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Messungen am Summiteiskern aus Grönland zeigen sehr eindrücklich, wie instabil das Klima während der letzten Eiszeit (vor mehr als 10 Jahrtausenden) war und wie vergleichsweise stabil es seitdem ist.

Ein weiteres Stück Information aus dem Eis, das erst seit der Entwicklung der extrem empfindlichen Beschleuniger-Massenspektrometrie-Methode lesbar wurde, betrifft die Sonne. Die Sonne stellt den Motor dar, der das Klimageschehen antreibt. Bereits geringste Änderungen der auf die Erdatmosphäre auftreffenden solaren Strahlungsleistung führt zu entsprechenden Änderungen innerhalb des Klimasystems. Ein Beispiel stellen die geringfügigen Störungen der Erdbahnparameter durch die übrigen Planeten dar, die allgemein als die Ursache für die beobachteten zyklischen Wechsel zwischen Warm- und Eiszeiten betrachtet werden (Theorie von Milankovic). Seit dem Satellitenzeitalter weiss man auch, dass die von der Sonne abgestrahlte Leistung ebenfalls im Promillebereich schwankt, und zwar offensichtlich im Rhythmus mit dem sog. 11-Jahres-Sonnenflecken- oder Schwabezyklus. Dieses relativ neue Ergebnis ist von grosser Tragweite, bedeutet es doch nicht nur, dass die Solarkonstante nicht wirklich konstant ist, sondern auch, dass nebst Schwankungen des Treibhausgas- und Aerosolgehalts in der Atmosphäre auch Änderungen der Solarkonstante zu Klimaschwankungen führen können.

Woher aber wissen wir, ob und wie stark sich die Solarkonstante in der Vergangenheit geändert hat? Auch hier enthält das Archiv Eis wieder Informationen, die allerdings nur sehr indirekt sind. Während Zeiten verstärkter Sonnenaktivität, wenn die Sonne etwas «wärmer» scheint, strömt von ihr auch vermehrt Sonnenwind ins All, der das ganze Sonnensystem ausfüllt. Im Sonnenwind «eingefroren» befinden sich magnetische Felder, die sich abschirmend auf die geladenen

Teilchen der kosmischen Strahlung auswirken und damit den kosmischen Strahlungsfluss reduzieren. Dadurch dringen weniger kosmische Strahlungsteilchen in die Erdatmosphäre ein, wo sie durch Kernreaktionen Radiosotope wie z. B. ^{10}Be und ^{14}C erzeugen. ^{10}Be lagert sich relativ schnell an atmosphärische Aerosole an und gelangt schliesslich über den Niederschlag (Regen, Schnee) auf den Erdboden, wo ein Teil davon auch im Eis gespeichert wird. Es kann deshalb angenommen werden, dass während Perioden starker Sonnenaktivität aufgrund der Abschirmwirkung des Sonnenwindes weniger ^{10}Be produziert wird und die Konzentration im Eis abnimmt, während ruhige Perioden umgekehrt zu einer Erhöhung der Konzentration führen. Man muss sich bewusst sein, dass auch die atmosphärischen Transport und Depositionsprozesse zu Änderungen der ^{10}Be -Konzentration im Eis führen können und deshalb eine eindeutige und perfekte Rekonstruktion der Geschichte der Sonnenaktivität nicht ohne weiteres möglich ist. Trotzdem sind die bisherigen Ergebnisse ermutigend.

Geht man davon aus, dass der von Satelliten während der letzten 15 Jahre gemessene Zusammenhang zwischen der Solarkonstanten und der Sonnenaktivität auch in früheren Zeiten gültig war, so erwartet man während Zeiten mit wenig Sonnenaktivität eher kühlere Klimabedingungen. Ein Vergleich der an einem Eisbohrkern aus Grönland gemessenen ^{10}Be -Konzentrationskurve mit einer aus vielen Datenreihen synthetisierten Temperaturkurve für die nördliche Hemisphäre zeigt einen Grad der Übereinstimmung, der zumindest eine Fortsetzung dieser noch in den Anfängen steckenden Untersuchungen rechtfertigt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Aufzeichnungen in natürlichen Archiven ganz klar zeigen, dass das Klima sich immer und zeitweise recht dramatisch geändert hat. Sie zeigen aber auch, dass die Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre heute Werte aufweisen, die weit über denjenigen liegen, die während der letzten ca. 200 000 Jahre beobachtet wurden. Dies und gerade auch die Tatsache, dass wir über die Konsequenzen unseres Handelns noch lange nicht genau Bescheid wissen, sollte uns eine Warnung sein, vorsichtiger mit unserer Umwelt umzugehen.

Seesedimente als Archive von natürlichen und vom Menschen geprägten Umweltbedingungen. Was ist natürlich? Was ist vom Menschen verursacht?

Michael Sturm & André F. Lotter

Nehmen wir an, ein Bergkanton würde die Frage nach der natürlichen Häufigkeit von seltenen Extremhochwässern stellen, ohne dass ihm zur Beantwortung dieser Frage zeitlich weit zurückreichende instrumentelle Messreihen zur Verfügung stünden. Nehmen wir weiters an, die Anstösser-Gemeinden eines Sees, besorgt über dessen Zustand, würden wissen wollen, wann die prekäre Situation ihres Gewässers begonnen hätte; Beobachtungen über die frühere Wasserqualität würden aber fehlen. In beiden Fällen könnten mit Hilfe von Seesedimenten Antworten auf die gestellten Fragen gefunden werden.

In Seesedimenten werden nämlich eine Vielzahl von Informationen über frühere Umweltsituationen gespeichert, so dass sie Archive darstellen, welche für die Rekonstruktion weit zurückliegender Ereignisse genutzt werden können. Es werden einerseits Auswirkungen seeinterner Prozesse dokumentiert, wie z. B. das Einsetzen bzw. das Ende anaerober Zustände an Sediment-Wasser-Grenzflächen oder das Auftreten subaquatischer Rutschungseignisse.

Andererseits lassen sich in den Sedimenten aber auch Ereignisse nachweisen, welche im unmittelbaren und im weiteren Einzugsgebiet eines Sees stattgefunden haben, wie z. B. Felsstürze oder eben auch Hochwässer, Vegetationsveränderungen oder unterschiedliche Formen der Landnutzung. Aber auch die Auswirkungen überregionaler und selbst globaler Umweltereignisse und Umweltveränderungen können in Sedimenten von Seen archiviert werden.

Die genaue Auswertung solcher «paläo-limnologischer», also aus der «alten Seegeschichte» stammenden Ereignisse erlaubt es auch, Auswirkungen natürlicher Ursachen (z. B. Klimaveränderungen) von den durch den Menschen hervorgerufenen Ursachen (z. B. Eutrophierungseignisse, Schwermetall-Belastungen usw.) zu unterscheiden. Die Darstellung und Interpretation von Sedimentprofilen aus zwei verschiedenen Seen soll dies beispielhaft erläutern.

Der URNERSEE gehört mit seinen grossen Zuflüssen und seiner 200 m Wassertiefe zu denjenigen alpinen Seen, deren Sedimentation hauptsächlich durch physikalische Prozesse bestimmt wird. Eine Anzahl sehr verschiedener Ereignisse im Einzugsgebiet des Sees, aber auch im See selbst, haben in den Seeablagerungen charakteristische Spuren hinterlassen.

So können in datierten Sedimentkernen des Urnersees bisher etwa 20 unterschiedliche Umwelt-Ereignisse bestimmt werden. Dazu gehören die Auswirkungen der Felsstürze vom Axen (1801) und der Gyrenfluh (1769) sowie die Ablagerungen von subaquatischen Rutschungen, welche durch die Erdbeben von 1774, 1755 und 1601 ausgelöst wurden. Ausserdem lassen sich die Ablagerungen der 3 grössten Reuss-Hochwasser-Ereignisse der letzten 1000 Jahre nachweisen. Eine Analyse der dabei entstandenen gradierten Sedimentschichten (Turbidite) zeigt, dass die Hochwasserkatastrophe von 1987 mit ihren riesigen Schadenssummen nur das drittgrösste Ereignis nach 1868 und 1343 darstellte.

Das Becken des heute nur 27 m tiefen SOPPENSEES im Kanton Luzern stellt eine glaziale Reliktstruktur dar, die während der raschen Rückzugphase des letzten Reussgletschers angelegt wurde. In dem seit damals abgelagerten, ca. 8 m mächtigen Sedimentprofil, dessen Bildung im Gegensatz zum Urnersee nicht durch physikalische, sondern hauptsächlich durch autochthone bio-/geochemische Prozesse beeinflusst wurde, ist lückenlos die Umweltgeschichte der letzten 15 000 Jahre dokumentiert. Eine Auswertung hochauflösender Pollenprofile und geochemischer Umweltparameter (z. B. organ. C, Ca, Mg, Fe, Mn) zeigt einen sehr dynamischen Verlauf der Vegetations- und geochemischen See-Entwicklung. Das paläo-ökologisch Aussergewöhnliche der Soppenseesedimente ist nicht zuletzt die Ausbildung anoxischer Jahreslagen (Varven) während ca. 6000 Jahren (zwischen 12000 und 6000 Jahren vor heute) und die intensive Schwarzfärbung nahezu der gesamten Sedimentkolonne. Der Soppensee bildet damit ein Beispiel für eine natürliche, von menschlichen Einflüssen unbeeinflusste Seen-Eutrophierung, die über Jahrtausende angehalten hat.

Erste Anzeichen menschlicher Präsenz im Bereich des Soppensees finden sich bereits vor ca. 6000 Jahren, die ersten direkten Auswirkungen menschlicher Tätigkeit auf die Umwelt (z. B. durch Rodungen) lassen sich jedoch erst ab dem Ende der Bronzezeit vor etwa 3000 Jahren belegen. Nachhaltigere Umweltsveränderungen haben vor ca. 2000 Jahren mit der Besiedlung des Schweizer Mittellandes durch die Römer begonnen und haben bis heute angehalten.

FAZIT: Sedimentarchive aus Seen erlauben es, die am Beginn gestellten Fragen zu beantworten, auch wenn instrumentelle Messreihen nur von viel kürzeren Zeitabschnitten zur Verfügung stehen. Sie sind damit eine wichtige Grundlage für die Beurteilung langzeitlicher Stabilität bzw. kurzfristiger Dynamik von Umweltsystemen, aber auch für die Abschätzung von ökologischen Risiken und für die Formulierung von künftigen Schutzziele.

So zeigt die in den Ablagerungen des SOPPENSEES

dokumentierte Geschichte des Sees und seiner Umwelt, dass der See bereits seit 12 000 Jahren natürlicherweise anaerob, also sauerstofffrei war, und, dass der Beginn menschlicher Aktivitäten mit der frühen Bronzezeit einsetzt. Und auch die URNERSEE-Ablagerungen belegen, dass Extremereignisse von der Art des Reuss-Hochwassers 1987 in den vergangenen 1000 Jahren wesentlich grösser waren und insgesamt dreimal aufgetreten sind.

Entstehung natürlicher Sedimentarchive. Saisonale Schwankungen bei der Partikelablagerung, Elimination oder Recyklierung von Nähr- und Schadstoffen aus Sedimenten.

Jürg Bloesch & Bernhard Wehrli

Über geologische Zeiträume werden unsere Seen verschwinden, denn jedes Jahr werden am Seeboden einige Millimeter frisches Sediment abgelagert. Bei Hochwasser schwimmen die Zuflüsse grosse Mengen von Bodenpartikeln in den See. Zusätzlich produziert das Ökosystem aus Algen und Zooplankton einen «Regen» von absinkenden Partikeln, die aus toter Biomasse und frisch gefälltem Kalk bestehen. Die Seesedimente archivieren deshalb vielfältige Informationen über den See, sein Ökosystem und sein Einzugsgebiet. Auf dem Weg ins dauerhafte Sedimentarchiv sind die absinkenden Partikel jedoch verschiedenen Umwandlungsprozessen unterworfen. Der Abbau von organischem Material und die Auflösung von Mineralien «löschen» einen Teil der Information, welche an den Seegrund gelangt. Nur ein Teil der absinkenden Feststoffe bleibt deshalb für geologische Zeiträume im Sediment gespeichert. Der Rest gelangt in gelöster Form zurück in den See. Wer Sedimentarchive interpretieren will oder Gewässerschutzmassnahmen für Seen planen soll, muss die Prozesse der Sedimentbildung kennen. Im 200 m tiefen Zugersee haben wir das Schicksal von absinkenden Partikeln auf ihrem Weg ins Sedimentarchiv verfolgt.

Mit Sedimentfallen lassen sich die Stoffflüsse und Abbaureaktionen des absinkenden Materials in verschiedenen Wassertiefen bestimmen. Das Sedimentmaterial im Zugersee wird zum grössten Teil im See produziert. Die Zuflüsse, welche z. B. das Sedimentationsgeschehen im Urnersee dominieren, spielen im Zugersee nur eine kleine Rolle. Die maximale Sedimentation findet im Sommer statt, wenn Algenblüten auftreten, welche auch zur Ausfällung von Kalk

führen. Dabei wirken Kieselalgen als «Kristallisationskeime» für die Kalkfällung. Die Bildung von Kotkugeln durch das Zooplankton erhöht die Absinkgeschwindigkeit von Algenmaterial. Die saisonale Variation im absinkenden Material führt im Sediment oft zu deutlichen Jahresschichtungen. Bei genügender Sauerstoffversorgung am Seegrund können solche Jahreslagen jedoch durch Würmer und Insektenlarven zerstört werden. Auch starke Windereignisse können in flachen Bereichen Sedimente aufwirbeln und dabei die «Archivinformation» verwischen.

Mit Flusskammern und Dialyseplatten lässt sich die Freisetzung von Stoffen am Seegrund messen. Dabei zeigen sich grosse Unterschiede bezüglich Rückhalt im Sediment. Kohlenstoff und Phosphor gelangen zum grössten Teil in gelöster Form wieder ins Seewasser: Nur 21% der produzierten Biomasse sinkt bis an den Seegrund. Der grösste Teil wird bereits in der Wassersäule wieder mineralisiert. Am Seeboden wird die Hälfte des Materials innerhalb von 1–2 Jahren direkt an der Sedimentoberfläche abgebaut. Langsamere Vorgänge wie die Methanbildung bauen ein weiteres Viertel ab. Nur etwa 4% der aktuell produzierten Biomasse wird über geologische Zeiten im Sediment gespeichert. Sehr ähnlich verhält sich im eutrophen Zugersee der Phosphor: Von 80 Tonnen partikulärem Phosphor, die jährlich zum Seegrund absinken, werden jedes Jahr nur 20 Tonnen ins Sediment eingebaut.

Andere Stoffe, wie die Schalen von Kieselalgen, der ausgefällte Kalk, mineralische Bodenpartikel und schwer abbaubarer Kohlenstoff bleiben als «Fingerabdruck» im Sediment weitgehend erhalten. Das Sediment besteht deshalb

aus einem vielfältigen Gemisch von festen Substanzen, welche Schwermetalle oder organische Chemikalien binden können. Mit Untersuchungen von Schadstoffen in datierten Sedimenten lässt sich der Anstieg der zivilisatorischen Bela-

stung der Gewässer genau dokumentieren. Andererseits liefern die natürlichen Sedimente auch Hinweise, wie sich Schadstoffe in Altlasten verhalten.

Rolle der Siedlungsentwässerung bei der Schadstoffanreicherung in Böden. Transportwege und Anreicherung von Schadstoffen bei alternativen Konzepten der Siedlungsentwässerung.

Markus Boller

In den heute meist verwirklichten Systemen zur Entwässerung von Siedlungen (Mischkanalisation) gelangen unerwünschte Substanzen teils direkt über Regenüberläufe und teils über gereinigtes Abwasser in die aquatische Umwelt. In Abwasserreinigungsanlagen werden aber auch substantielle Mengen an Schmutzstoffen aus dem Abwasser eliminiert und sind, falls nicht biologisch abgebaut, in den Schlamm eingebunden, der zu einem erheblichen Teil in die terrestrische Umwelt zurückgeführt wird (Landwirtschaft, Deponien). Die Rückführung sowohl der Abwässer wie auch der Schlämme in die Umwelt hinterlässt Spuren, insbesondere da, wo die Stoffe in partikulärer Phase vorliegen oder in diese übergehen und an Böden oder Sedimenten fixiert und angereichert werden. Ob eine Verunreinigungssubstanz den Weg in die Pedosphäre oder in die Hydrosphäre nimmt, hängt weitgehend von den Substanzeigenschaften, vom chemischen Milieu an den Grenzflächen und vom Entwässerungs- und Reinigungskonzept ab. Schwermetalle sind typische Vertreter von Substanzen, die gut adsorbierbar, fällbar, nicht abbaubar sind und zur Hauptsache in die terrestrische Umwelt gelangen und dort bevorzugt angereichert werden. Wieviel und wo Schwermetalle angereichert werden, entscheidet sich entsprechend der Stoffflussführung von verschmutzten Kommunal-Abwässern und weniger verschmutzten Abwässern wie Regenwasserabflüsse von Dächern, Strassen und Plätzen (Meteorwasser). Untersuchungen zu Schwermetallflüssen in Siedlungen weisen nach, dass ein erheblicher Beitrag der Schwermetallbelastung in Abwässern aus dem Meteorwasser und somit aus schwer kontrollierbaren diffusen Quellen stammt. Je nach Schwermetall machen die Meteorwasserfrachten 50%–80% der Gesamtbelastung in Abwässern aus.

Grundsätzlich existieren drei Konzepte der Siedlungsentwässerung, die sich in der Wasserableitung für das Meteorwasser unterscheiden. Somit sind entsprechend unterschied-

liche Schwermetallflüsse und Endlagerplätze bzw. Anreicherungsstellen zu erwarten. Anhand einer Fallstudie im Gebiet der Stadt St. Gallen wurden drei Szenarien mit (1) konsequenter Mischkanalisation, (2) konsequenter Trennkanalisation (kommunale Abwässer getrennt von Meteorwasser) und (3) konsequente Verwirklichung der dezentralen Meteorwasserversickerung hinsichtlich Schwermetallflüsse untersucht. Die Hauptakzente der Umweltbelastung liegen bei der Mischwasserkanalisation eindeutig in landwirtschaftlichen Böden und Deponien, bei der Trennkanalisation zusätzlich in den Vorflutersedimenten und beim Versickerungskonzept in den Böden von Versickerungsanlagen. Die Verteilung auf landwirtschaftliche Böden, Fluss- und Seesedimente stellt eine diffuse Belastung mit relativ langsamen Akkumulationsraten dar, die über Zeithorizonte von 100 und mehr Jahren zu nicht tolerierbaren Konzentrationen führen werden. Demgegenüber werden bei Versickerungsanlagen die Schwermetalle stark an den obersten Bodenschichten aufkonzentriert und liegen in klar definierten Bodenhorizonten vor. Die Anreicherungsraten sind jedoch um ein Vielfaches höher als in landwirtschaftlichen Böden, so dass im Bereich von weniger als 50 Jahren, zum Teil weniger als 10 Jahren, die heute geltenden Richtwerte für Schwermetalle in Böden überschritten werden.

Als Folgerung sind langfristig die Ziele auf eine Erniedrigung der diffusen Frachten aus atmosphärischen Belastungen sowie aus Dach- und Ablaufmaterialien zu richten. Das langsame Greifen solcher Massnahmen zwingt heute zu technischen Lösungen im Bereich der Versickerungsbauwerke, indem diese nicht nur als hydraulische Installationen zum Wegtransport des Meteorwassers in den Untergrund dienen sollen, sondern gleichzeitig die Funktion eines Reinigungskörpers beispielsweise durch den Einbau spezieller Adsorptionshorizonte übernehmen.