

Überwachung der Klärschlammqualität im Kanton Zürich

Dr. Peter Spohn

Liebefeld, 6. Mai 2008



Baudirektion
Kanton Zürich

AWEL Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft

Das Umfeld:

Die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm ist im Kanton Zürich seit dem 1. Oktober 2006 vollständig verboten. Der Kanton hat auf die Inanspruchnahme der in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) bis Ende September 2008 anberaumten Übergangsfrist verzichtet. Basierend auf dem Regierungsratsbeschluss vom 3. Dezember 2003 wird seit dem 1. Oktober 2006 der im Kanton Zürich anfallende Klärschlamm kommunaler Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) in Monoverbrennungsanlagen, Kehrichtverwertungsanlagen oder in der Zementindustrie verbrannt.

Mit dem Verbot der landwirtschaftlichen Verwertung des Klärschlammes ist auf den ersten Blick der primäre Grund für die Überwachung der Klärschlammqualität weggefallen und es waren schnell Stimmen zu vernehmen, welche den Sinn von Klärschlammuntersuchungen grundsätzlich in Frage stellten.

Weshalb das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL), an Nutzen und Notwendigkeit der Überwachung der Klärschlammqualität festhält, soll im folgenden aufgezeigt werden. Weil klare Vorgaben durch den Bund fehlen, hat die Baudirektion Zürich ein kantonales Überwachungskonzept erarbeitet, welches im folgenden vor- und anschliessend zur Diskussion gestellt wird.

Inhalt

1. **WWW**

- **Wozu** Umweltbeobachtung mit Klärschlamm?
- **Was** meint der Gesetzgeber dazu?

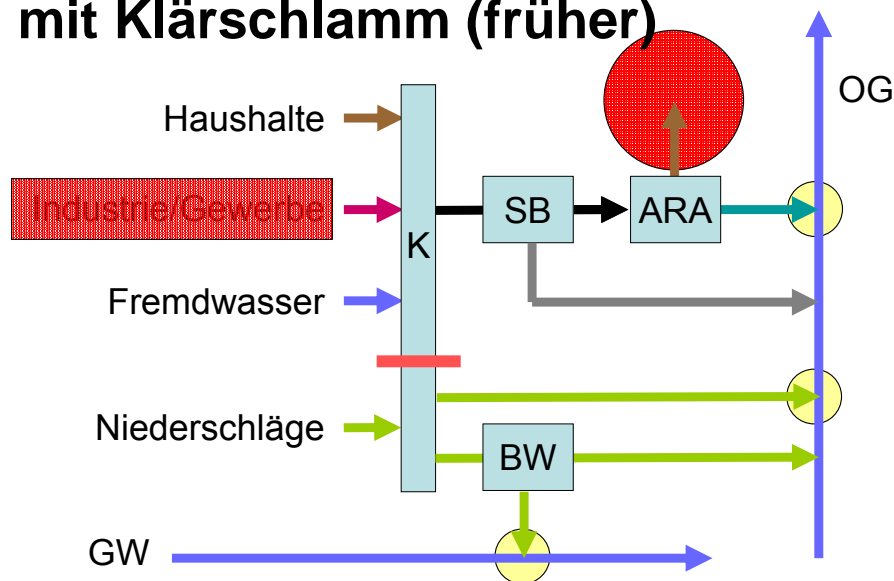
2. **WWW**

- **Welche** Parameter werden gemessen?
- **Wie** wurden Befunde früher beurteilt?
- **Wie** werden Resultate heute beurteilt?
(Schadstoffindex, SI)

3. **WWW**

- **Weitere** Fragen?
- **Was** wir weiterhin wollen!

WWW: Wozu Umweltbeobachtung mit Klärschlamm (früher)

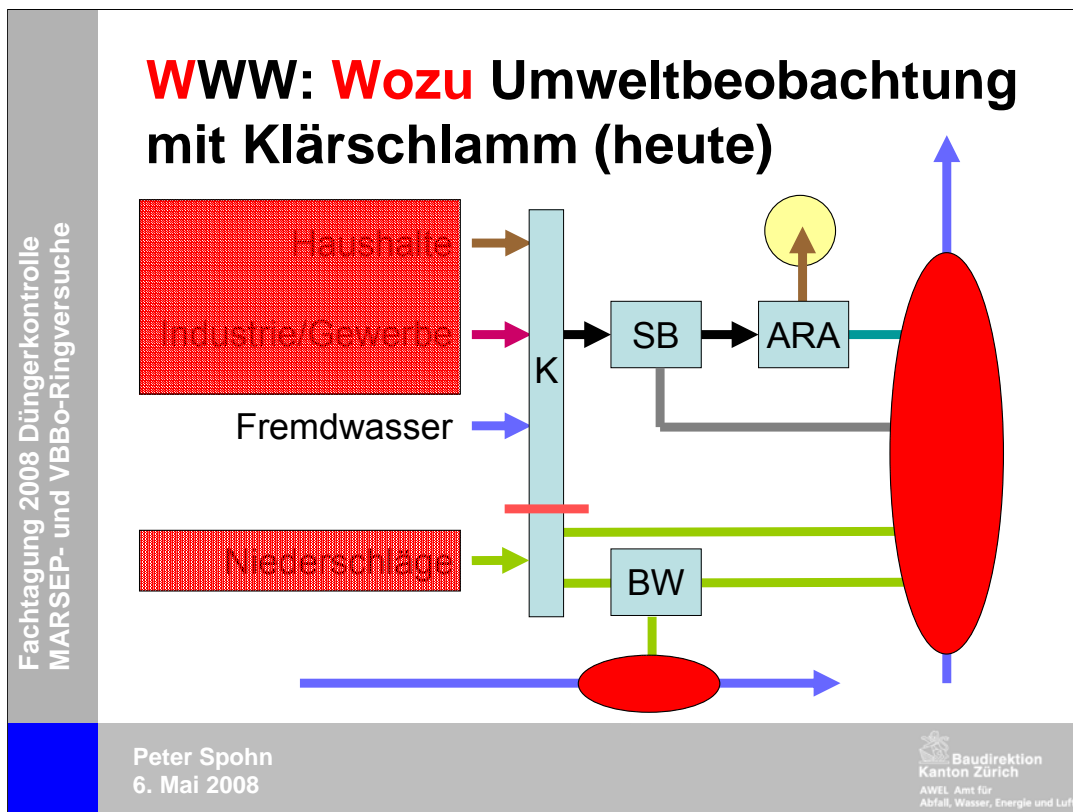


Peter Spohn
6. Mai 2008

Dargestellt ist das System der Siedlungsentwässerung mit Kanalisation (K), Sonderbauwerken (SB), Filterbecken resp. Versickerungsanlagen (BW) und Abwasserreinigungsanlage (ARA). Dieses System nimmt die Abwässer am Entstehungsort auf und leitet diese nach mehr oder weniger vollständiger Reinigung den Oberflächengewässern (OG) resp. dem Grundwasserträger (GW) zu.

Früher wurde durch Klärschlammuntersuchungen sicher gestellt, dass der in der Landwirtschaft eingesetzte Klärschlamm einer definierten Mindestqualität entsprach. War der Grenzwert von mindestens einem klar definierten Schadstoff überschritten, wurde der Schlamm aus dem Verkehr gezogen und der Verbrennung zugeführt. Dies erfolgte auch dann, wenn der Schadstoffmix als an sich unbedenklich taxiert werden konnte.

Eine klare gesetzliche Regelung auf der Basis von Grenzwerten legitimierte die laboranalytische Untersuchung von Klärschlamm. Ideell wurde damit Bodenschutz betrieben. Konnte die Mindestqualität nicht eingehalten werden, bestand unmittelbar Handlungsbedarf, die Abwasserverhältnisse industriell-gewerblicher Schadstoff-Einleiter zu sanieren.



Der Bodenschutz kann heute die Überwachung der Klärschlammqualität nicht mehr legitimieren. Anders sieht es beim Gewässerschutz aus.

Die direkte Messung von Schadstoffen in den in die Gewässer eingeleiteten gereinigten und ungereinigten Abwässern ist in Folge tiefer Konzentrationen laboranalytisch oft aufwändig. Für die Beurteilung der mittleren Belastung der Gewässer sind die Resultate nicht zwingend repräsentativ.

In der ARA wird die zufließende Abwassermenge auf ca. 1/100 Massenprozent Klärschlamm reduziert. Viele Schadstoffe werden aufkonzentriert und während einiger Wochen im System behalten und vermischt. Die angemessene Überwachung der Klärschlammqualität erlaubt somit mit verhältnismässig geringem Aufwand, Aussagen über Art und Umfang der Einleitung von Schadstoffen durch Haushalte und Industrie/Gewerbe in die Kanalisation zu machen.

Klärschlamm ist eine der wesentlichen Schadstoffsenken in der Anthroposphäre und damit von hoher Aussagekraft für die Umweltbeobachtung.

Mit Hilfe der Überwachung der Klärschlammqualität lassen sich aber auch verlässliche Aussagen über den Schadstoffeintrag in die Gewässer machen, wie im Folgenden gezeigt wird. Dabei sollen die Schadstoffeinträge nicht nur mengenmässig, sondern auch in ihrer Wirkung charakterisiert werden.

WWW: Ges. Bestimmungen: CH

Art. 14 Abs. 2 lit. a GSchV

Die Inhaber von zentralen ARAs müssen u.a. melden: die wichtigen Betriebsdaten wie Wirkungsgrad, Menge und Eigenschaften des Klärschlammes, Art der Klärschlamm Entsorgung, Energieverbrauch und Betriebskosten.

Art. 20 GSchV (KS-Untersuchung und Meldepflichten)

¹Die Inhaber von zentralen ARAs müssen dafür sorgen, dass die Qualität des Klärschlammes in den fachlich gebotenen Zeitabständen untersucht wird.

²Sie müssen die Ergebnisse der Behörde melden.

Peter Spohn
6. Mai 2008

Die Überwachung der Klärschlammqualität ist schweizweit geregelt in der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998. Verlangt wird dabei insbesondere, dass die Qualität des Klärschlammes in den fachlich gebotenen Zeitabständen zu untersuchen ist.

Der Gesetzgeber lässt offen, welche Parameter für die Untersuchung der Qualität des Klärschlammes zu messen sind. Ebenso lässt der Gesetzgeber offen, was es mit den fachlich gebotenen Zeitabständen auf sich hat.

WWW: Bestimmungen Kt. ZH

RRB Nr. 1784 vom 3. Dezember 2003:

Schlämme sind auch nach dem Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung in fachlich gebotenen Zeitabschnitten auf ihren Schadstoffgehalt hin zu untersuchen.

Die zu untersuchenden Parameter werden durch das UVEK festgelegt.

Bis dahin gelten die Anforderungen gemäss Anhang 4.5 StoV.

Peter Spohn
6. Mai 2008

Der Regierungsrat des Kantons Zürich verlangt unabhängig von der landwirtschaftlichen Verwertung Untersuchungen des Schadstoffgehalts in Klärschlämmen. Gleichzeitig geht er davon aus, dass entsprechende Ausführungsbestimmungen vom Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) erlassen werden. Bezüglich Beurteilung der laboranalytischen Werte verweist der Regierungsrat auf die Anforderungen gemäss Anhang 4.5 der damals gültigen Stoffverordnung (StoV) vom 9. Juni 1986. Diese Werte entsprechen den Grenzwerten für die Zulässigkeit der landwirtschaftlichen Verwertung.

Zwischenzeitlich wurde die StoV durch die ChemRRV vom 18. Mai 2005 ersetzt. In Anhang 2.6 Ziff. 5 ChemRRV sind für die eingeschränkt noch zulässige Ausbringung von Klärschlamm Übergangsbestimmungen erlassen worden, welche die Mindestqualität der Schlämme festlegen.

Nach Eintritt des definitiven Ausbringverbots am 1. Oktober 2008 werden die genannten Bestimmungen obsolet. Von Seiten BafU wurde signalisiert, dass von Seiten UVEK keine neuen Bestimmungen erlassen werden. Für die Überwachung der Klärschlammqualität gibt es in der Schweiz damit keine einheitlichen Vorgaben.

Der Vollzug der Forderungen der GSchV liegt somit ganz bei den Kantonen. Diesen steht es frei, Art und Anzahl der zu untersuchenden Schadstoffe, die Häufigkeit der Messungen und insbesondere auch die Beurteilung der Befunde und das allfällige Ableiten von Massnahmen zu bestimmen. Schweizweite Analysen und aussagekräftige interkantonale Vergleiche werden so unmöglich. Aus Sicht Gewässerschutz ist dies höchst bedauerlich.

WWW: Welche Parameter?

- Schwermetalle
 - Hg, Cd, Mo, Co, Ni, Cr, Pb, Cu, Zn
 - (Ag, Sb, V, Sn)
- Organische Schadstoffe
 - (AOX)
 - (PAK, PCB, PFT, weitere?)
- Nährstoffe
 - P (P_2O_5), Ca, Mg, K
 - (Nges)
- Trockenrückstand (TR), Glührückstand (GR)

Peter Spohn
6. Mai 2008

Das im folgenden vorgestellte Untersuchungsprogramm des Kantons Zürich basiert auf den seit den 80-er Jahren durchgeführten Schadstoffmessungen im Hinblick auf die landwirtschaftliche Verwertung. Neben den bisher analysierten Schwermetallen sollen mittel- bis langfristig weitere Metalle gemessen werden: z. B. die für den Strassenverkehr relevanten Metalle Antimon, Vanadium und Zinn. Im Zusammenhang mit dem Einsatz in Nanopartikeln auch Silber.

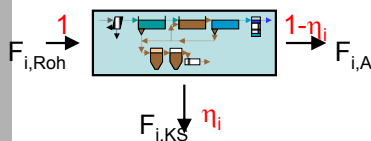
Bei den organischen Schadstoffen soll auf den Parameter (adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX) verzichtet werden, weil er analytisch aufwändig zu bestimmen und wenig aussagekräftig ist. Kandidaten für eine Aufnahme sind die gängigen polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) und neu auch perfluorierte Tenside (PFT), welche zunehmend auch in Publikumsprodukten eingesetzt werden.

Im Hinblick auf die Verbrennung von Klärschlamm in Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen und auf die Lagerung der Rückstände in Wertstoffkompartimenten spezieller Deponien sollen die Gehalte ausgesuchter Nährstoffe weiterhin ermittelt werden. Ob der Parameter Gesamtstickstoff (Nges) weiterhin untersucht werden soll, ist noch nicht entschieden.

WWW: Transfer & Schlupf

Für nichtflüchtige, nichtabbaubare und nichtakkumulierende Schadstoffe i gilt:

$$\left. \begin{aligned} F_{i,A} &= (1 - \eta_i) F_{i,Roh} \\ F_{i,KS} &= \eta_i F_{i,Roh} \end{aligned} \right\} F_{i,A} = \frac{(1 - \eta_i)}{\eta_i} F_{i,KS} = \frac{(1 - \eta_i)}{\eta_i} SP_j C_{i,j,KS}$$



$\eta_i = 0.5$	--> $F_{i,A} = F_{i,KS}$
$\eta_i = 0.33$	--> $F_{i,A} = 2 F_{i,KS}$
$\eta_i = 0.66$	--> $F_{i,A} = 0.5 F_{i,KS}$
η_i klein	--> $F_{i,A}$ gross

Peter Spohn
6. Mai 2008

Basis für die Berechnung des gesuchten Schadstoffindex eines mit mehreren Schadstoffen belasteten Klärschlamm j bilden die Massenbilanzen der einzelnen Schadstoffe i in der ARA.

Es werden im folgenden nur Schadstoffe betrachtet, welche weder flüchtig noch abbaubar sind und sich auch nicht akkumulieren. Die im Rohwasser der ARA zufließenden Frachten aller Schadstoffe i ($F_{i,Roh}$) werden entsprechend der Grösse ihrer individuellen Transferkoeffizienten η_i in den Klärschlamm transferiert ($F_{i,KS} = \eta_i F_{i,Roh}$). Der Rest der zufließenden Schadstofffracht verlässt die ARA von den Reinigungsprozessen unbeeinflusst mit dem gereinigten Abwasser [$F_{i,A} = (1 - \eta_i) F_{i,Roh}$].

Entscheidend für die weiterführenden Überlegungen ist die Fracht des Schadstoffes i im gereinigten Abwasser ($F_{i,A}$). Diese lässt sich durch Elimination der zugeflossenen Fracht i ($F_{i,Roh}$) aus dem aufgeführten einfachen Gleichungssystem berechnen.

Die Fracht des Schadstoffes i im Klärschlamm ($F_{i,KS}$) ist gegeben durch das Produkt der Schlammproduktion (SP_j) sowie durch die laboranalytisch bestimmte Konzentration des Schadstoffes i im Klärschlamm j ($C_{i,j,KS}$).

Die weiteren Angaben beziehen sich auf die Rolle der Transferkoeffizienten für die im gereinigten Abwasser gefundenen Schadstofffrachten. Je kleiner der Transferkoeffizient des Schadstoffes i in den Klärschlamm ist, desto grösser ist die im gereinigten Abwasser zu erwartende Fracht des Schadstoffes.

WWW: Transferkoeffizienten

Metall	η ()	$C_{i,20a}$ (mg/kgT R)
Hg	0.76	1.17
Mo	0.70	7.21
Cd	0.70	1.70
Co	0.49	11.5
Ni	0.50	29.6
Cr	0.74	52.1
Cu	0.79	366
Pb	0.80	98.0
Zn	0.72	1'147

Peter Spohn
6. Mai 2008

Transferkoeffizienten für übliche Schadstoffe können der Literatur entnommen werden. Diese variieren je nach Quelle in Folge verschiedenster Einflussfaktoren stark (Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung, Abwasserbeschaffenheit, Aufenthaltszeiten usw.). Ausgesprochen gross sind die von verschiedenen Autoren in praktischen Experimenten gefundenen Variationen des Nickel-Transferkoeffizienten. Für verschiedene Metalle liegen teilweise nur wenig aussagekräftige Messungen der Transferkoeffizienten vor.

Die aufgeführten Transferkoeffizienten sind unsere Interpretationen von Mittelwerten, welche im Rahmen einer vom AWEL im Rahmen des Projektes SEA (Stoffwechsel im Einzugsgebiet von ARAs) bei der EPF-Lausanne in Auftrag gegebenen Literaturstudie ermittelt wurden (Th. Kupper, Der Transfer von Schwermetallen vom Abwasser in den Klärschlamm unter besonderer Berücksichtigung von Nickel, Literaturstudie, August 2000). Wichtig ist der Hinweis, dass über die hier eingesetzten Werte diskutiert werden kann. Das AWEL ist bereit, die hier genannten und im Modell verwendeten Transferkoeffizienten an neue Erkenntnisse anzupassen.

Die Mittelwerte der Konzentrationen aller von der Gewässerschutzfachstelle des Kantons in den vergangenen 20 Jahren durchgeführten Messungen der Schwermetallgehalte in Klärschlamm sind in der zweiten Spalte aufgeführt. Die Gehalte variieren erheblich. So wurden im Mittel fast 1'000 mal mehr Zink als Quecksilber in den Klärschlämmen gefunden.

WWW: Normierung Einzelfrachten

$$F_{i,j,A} = \frac{(1 - \eta_i)}{\eta_i} SP_j C_{i,j,KS}$$

Unabhängig vom Schadstoff i gilt:

$$\left(\frac{F_{i,j,A}}{F_{i,max,A}} \right) = SP_j \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right) \left(\frac{C_{i,j,KS}}{F_{i,max,A}} \right)$$

$$F_{i,max,A} = C_{i,GW,A} Q_j = C_{i,GW,W} Q_j = k C_{i,GW,KS} Q_j$$

$$\rightarrow \left(\frac{F_{i,j,A}}{F_{i,max,A}} \right) = \left(\frac{SP_j}{k Q_j} \right) \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right) \left(\frac{C_{i,j,KS}}{C_{i,GW,KS}} \right)$$

Peter Spohn
6. Mai 2008

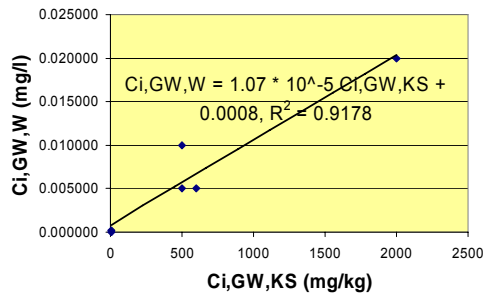
Um den stark unterschiedlichen Konzentrationen der Schadstoffe i im Klärschlamm j und damit sinngemäss auch im gereinigten Abwasser j Rechnung tragen zu können, werden die Frachten des Schadstoffs i durch eine später noch zu definierende Maximalfracht im Abwasser $F_{i,max,A}$ dividiert.

Auf der rechten Seite der Gleichung entsteht ein Quotient, welcher die Terme Schadstoffkonzentration i im Klärschlamm j $C_{i,j,KS}$ und die Maximalfracht desselben im Abwasser $F_{i,max,A}$ umfasst. Dieser Quotient lässt sich berechnen, wenn $C_{i,max,A}$ berechnet wird aus einer Grenzwertkonzentration des Schadstoffes i im Abwasser $C_{i,GW,A}$ und der zur Produktion des Schlammes j führenden Wassermenge Q_j . Die Grenzwertkonzentration des Schadstoffes i im Abwasser kann der Grenzwertkonzentration des Schadstoffes i in den Gewässern gleichgesetzt werden, d.h. es soll $C_{i,GW,A} = C_{i,GW,W}$ gelten.

Wird davon ausgegangen, dass die im Gewässer und im Klärschlamm geltenden Grenzwerte der Schadstoffe ursächlich - über deren toxischen Eigenschaften - zusammen hängen, dann lässt sich mit dem Ansatz $C_{i,GW,W} = k C_{i,GW,KS}$ der ursprüngliche Ansatz in eine neue Beziehung umformen. Diese bezeichnet für jeden Schadstoff den Quotienten, der angibt, wie gross die Belastung des Gewässers mit dem Schadstoff i gemessen an einer toxikologisch definierten Maximalbelastung ist.

WWW: Einbezug „Ökotoxikologie“

Bestimmung von k für alle i :



Metall	$C_{i,GW,W}$ ($\mu\text{g/l}$)	$C_{i,GW,KS}$ (mg/kg TR)
Hg	0.03	5
Mo		20
Cd	0.20	5
Co		60
Ni	10	80
Cr	5	500
Cu	5	600
Pb	10	500
Zn	20	2'000

$$k = \frac{C_{i,GW,W}}{C_{i,GW,KS}} \approx \left(\frac{\Delta C_{i,GW,W}}{\Delta C_{i,GW,KS}} \right) = 1.07 \cdot 10^{-5} \text{ kg/l}$$

Peter Spohn
6. Mai 2008

Die Konstante k ist im Sinne der Ableitung global. Ihre Grösse lässt sich wie folgt abschätzen:

Werden die Grenzwerte der Schadstoffe i im Wasser ($C_{i,GW,W}$, Angabe in mg/l , Quelle GSchV) und im Klärschlamm ($C_{i,GW,KS}$, Angabe in mg/kg , Quelle ChemRRV) gegeneinander aufgetragen, dann lässt sich die gesuchte Konstante k berechnen zu $1.07 \cdot 10^{-5} \text{ kg/l}$. Die dazu notwendige lineare Regression ist nicht wirklich gut (Korrelationskoeffizient = 0.91), für vorliegende Zwecke aber hinreichend gut.

Dass ein vernünftiger Wert für k gefunden wird, beweist, dass der Gesetzgeber die jeweiligen Grenzwerte nicht willkürlich, sondern u.a. auch unter Einbezug ökotoxikologischer Anforderungen festgelegt hat. Auf die Begründung der Werte wird an dieser Stelle mit Verweis auf die Kommentare der genannten Verordnungen verzichtet.

WWW: Summe Einzelschäden

$$\rightarrow \left(\frac{F_{i,j,A}}{F_{i,max,A}} \right) = \left(\frac{SP_j}{k Q_j} \right) \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right) \left(\frac{C_{i,j,KS}}{C_{i,RW,KS}} \right)$$

Berechnung von Sl_j :

$$Sl_j \sim \left(\frac{F_{Hg,j,A}}{F_{Hg,max,A}} \right) + \left(\frac{F_{Cd,j,A}}{F_{Cd,max,A}} \right) + \dots$$

$$Sl_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_{i,j,A}}{F_{i,max,A}} \right)$$

Peter Spohn
6. Mai 2008

Zur Herleitung der Beziehung sind die Grenzwerte der Schadstoffe für die landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes herangezogen worden ($C_{i,GW,KS}$). Diese erfüllen in der vorliegenden Betrachtung nicht mehr die Rolle von eigentlichen Grenzwerten, sondern stellen lediglich den Massstab dar, mit welchen die jeweiligen gemessenen Schadstoffkonzentrationen in Beziehung zu setzen sind. Das AWEL hat sich deshalb entschieden, neu nur noch von Richtwerten ($C_{i,RW,KS}$) zu sprechen.

Damit lässt sich für alle betrachteten Schadstoffe i die mit dem gereinigten Abwasser in das Gewässer gelangende Fracht auf die schadstoffbezogene, indirekt durch die toxischen Eigenschaften des Schadstoffs definierte Maximalfracht im Gewässer beziehen und berechnen.

Sind mehrere Schadstoffe zu beurteilen, dann werden die entsprechenden Quotienten addiert. Diese Summe wächst mit jedem zusätzlich in die Beurteilung einbezogenen Schadstoff, weshalb sie zur Wahrung der Vergleichbarkeit der errechneten Schadstoffindices durch die Gesamtzahl n der Schadstoffe zu dividieren ist.

WWW: Schadstoffindex (SI)

$$SI_j = \frac{1}{n} \left(\frac{SP_j}{k Q_j} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right) \left(\frac{C_{i,j,KS}}{C_{i,RW,KS}} \right)$$

- SI ist ein Mass für die mittlere, gewichtete Belastung des gereinigten Abwassers mit Schadstoffen
- SI: Einfluss einzelner Schadstoffe wird ausgeglichen
- SI klein --> Gewässerbelastung gering
- Zahl der beurteilten Parameter kann an neue Begebenheiten angepasst werden

Peter Spohn
6. Mai 2008

Damit sind wir am Ziel: Für den Schadstoffindex des Klärschlammes j resultiert eine dimensionslose Zahl SI_j , welche Auskunft darüber gibt, wie gross die Gesamtbelastung des Gewässers mit den im Klärschlamm gemessenen Schadstoffen ist.

Der SI_j ist ein Mass für die Gesamtschaden aller gemessenen Schadstoffe am Gewässer. Da der Gesamtschaden definiert wird durch die Summe der Einzelschäden der Schadstoffe, ist es mit dem SI in der vorliegenden Form nicht möglich, synergistische Effekte der untersuchten Schadstoffe zu modellieren.

WWW: SI - Vereinfachungen

$$SI_j = \frac{1}{n} \left(\frac{SP_i}{k Q_j} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right) \left(\frac{C_{i,j,KS}}{C_{i,RW,KS}} \right)$$

Für alle i und j gilt

$$K_i = \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right) \left(\frac{1}{C_{i,RW,KS}} \right); K_j = \left(\frac{SP_i}{k Q_j} \right)$$

Daraus folgt:

$$SI_j = \frac{K_j}{n} \sum_{i=1}^n K_i C_{i,j,KS}$$

Peter Spohn
6. Mai 2008

Die Formel zur Berechnung des SI_j lässt sich vereinfachen, wenn alle schadstoffabhängigen Parameter i zu den entsprechenden Konstanten K_i und die für den Klärschlamm charakteristischen Parameter zur Konstante K_j zusammengefasst werden.

Die Werte von K_i können für alle Schadstoffe aus den Transferkoeffizienten η_i und den neu als Richtwerte bezeichneten ehemaligen Grenzwerten für die landwirtschaftliche Verwertung direkt berechnet werden.

WWW: Berechnung von K_j

$$K_j = \left(\frac{SP_j}{k Q_j} \right)$$

Annahme: für alle j gilt im Mittel:

$$k = 1.07 \cdot 10^{-5} \text{ kg/l}$$

$$SP_j = 45 \text{ g/EWd}$$

$$Q_j = 400 \text{ l/EWd}$$

$$K_j = \frac{45 \text{ g} \cdot \text{l} \cdot \text{EW d} \cdot \text{kg}}{\text{EW d} \cdot 1.07 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot 400 \text{ l} \cdot 1'000 \text{ g}} \approx 10$$

Peter Spohn
6. Mai 2008

Für die Berechnung von K_j ist je nach beprobtem Klärschlamm mit unterschiedlichen Werten für die Schlammproduktion SP_j zu rechnen. Ist der untersuchte Klärschlamm durch mesophile Schlammfäulung stabilisiert, wird für die Schlammproduktion SP_j im Mittel mit 45 g TR/EWd gerechnet (TR: Trockenrückstand). Wird ein aus Primär- und Überschussschlamm bestehender Frischschlamm auf seinen Schadstoffgehalt beprobt, dann wird für SP_j ein Wert von 75 g TR/EWd eingesetzt. Im Rahmen des Routineprogramms des AWEL werden von diesen Schlammarten noch die mehr oder weniger vollständig stabilisierten Klärschlämme unterschieden (Schlämme aus Emscher-Brunnen usw.). In diesen Fällen wird zurzeit mit 50 g/EWd gerechnet.

Die spezifische Wassermenge Q_j kann individuell berücksichtigt werden. Dazu ist der mittlere spezifische Abwasseranfall während der für die erhobene Schlammprobe geltenden Faulzeit zu bestimmen. In Folge witterungsbedingter grösserer Schwankungen der ARA-Zuflüsse und variabler Faulzeiten sind die spezifischen Wassermengen Q_j mehr oder weniger grossen Schwankungen ausgesetzt. Die Schwankungen sind insbesondere bei den massgebenden Q_j bei Frischschlammuntersuchungen erheblich. Im Rahmen von Routineuntersuchungen lässt sich der Aufwand für die Ermittlung der effektiv massgebenden Wassermengen nicht rechtfertigen. Das AWEL rechnet zurzeit mit einem mittleren Wert von 400 l/EWd.

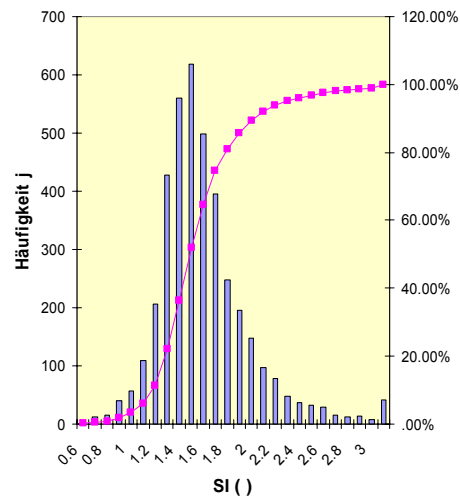
Für ausgefäulte Schlämme gilt für K_j somit ein Wert von ca. 10, für Frischschlämme ein Wert für K_j von ca. 17.

WWW: Kt. ZH Routineuntersuch.

AWEL-Routineprogramm
(1986 - 2007)
N = 3'953

Kanton Zürich

- Minimum: 0.345
- **Median: 1.486**
- Maximum: 8.067



Peter Spohn
6. Mai 2008

Die Auswertung der in den vergangenen 20 Jahren im Rahmen des AWEL-Routineprogramms durchgeführten Klärschlammuntersuchungen ergibt eine eingipflige, rechtsschiefe Häufigkeitsverteilung der SI.

Der Median beträgt 1.486.

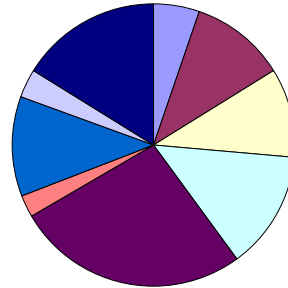
Für die grossen SI sind ARAs verantwortlich, deren Klärschlamm durch industriell-gewerbliche Einleitung (z.B. Galvanikbetriebe) stark mit Schwermetallen belastet waren.

WWW: SI: Beitrag der Schadstoffe

Metall	$C_{i,20a}$ (mg/kgT R)	Anteil (abs.)	Anteil (%)	Rang
Hg	1.17	0.083	5.3	7
Mo	7.21	0.172	10.9	5
Cd	1.70	0.161	10.2	6
Co	11.5	0.216	13.7	3
Ni	29.6	0.419	26.6	1
Cr	52.1	0.040	2.5	9
Cu	366	0.177	11.2	4
Pb	98.0	0.056	3.5	8
Zn	1'147	0.252	16.0	2
Summe		1.577	100.0	

$$SI_j = \frac{1}{n} \left(\frac{SP_i}{k \cdot Q_j} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right) \left(\frac{C_{i,j,KS}}{C_{i,GW,KS}} \right)$$

Anteil am Gesamtschaden
im Gewässer (%)



Peter Spohn
6. Mai 2008

Mit dem SI lassen sich alte Fragen mit einem neuen Hilfsmittel bearbeiten.
Beispiel einer Frage: Tragen alle Schadstoffe in gleichem Mass zum Gesamtschaden bei oder sind einzelne der betrachteten Metalle schädlicher als andere und wie gross sind gegebenenfalls ihre relativen Beiträge?

Um diese Frage zu beantworten, werden die mittleren Konzentrationen aller Schadstoffe $C_{i,j,KS}$ im durchschnittlichen Klärschlamm (Mittelwerte der Untersuchungen von 1986 - 2007, $N = 3'953$) genommen und deren absolute Anteile am SI_j berechnet (vgl. Tabelle). Die relativen Anteile der einzelnen Schadstoffe am Gesamtschaden lassen sich anschliessend berechnen.

Nickel verursacht im Mittel den grössten Schaden, gefolgt von Zink, Molybdän und Cadmium. Im Mittel sind die Metalle Chrom, Blei und Quecksilber nur von geringer Relevanz.

WWW: K_i , K_j und SI-Sensitivitäten

$$\Delta SI_{i,j} = \frac{K_j K_i}{n} \Delta C_i$$

	$K_i = 10$	$n = 9$
Metall	K_i	$(K_j * K_i) / n$
Hg	0.064026	0.080033
Mo	0.021429	0.026786
Cd	0.085423	0.106779
Co	0.017003	0.021254
Ni	0.012753	0.015941
Cr	0.000511	0.000639
Cu	0.000687	0.000859
Pb	0.000436	0.000545
Zn	0.000198	0.000247

Peter Spohn
6. Mai 2008

Es stellt sich die Frage, wie sensitiv der SI auf Änderungen der Schadstoffkonzentrationen reagiert. Die für die Schadstoffe massgebenden Sensitivitätsfaktoren sind in der gelb unterlegten Spalte aufgeführt.

Nimmt beispielsweise die Konzentration an Chrom im Klärschlamm um 100 mg/kg TR zu, dann nimmt der SI um 0.0639 zu (100 mg/kg TR * 0.000639 kg/mg), wenn alle anderen Schadstoffgehalte konstant bleiben. Diese Zunahme würde z.B. kompensiert durch eine gleichzeitige Abnahme der gemessenen Nickel-Konzentration um 4 mg/kg TR, weil $\Delta SI = - 4 \text{ mg/kg} * 0.015941 \text{ kg/mg} = - 0.0638$ beträgt.

WWW: Weitere Fragen?

Wie oft muss welcher KS jeder ARA untersucht werden, damit im Untersuchungsprogramm der Bedeutung der ARA als "Gewässerverschmutzer" Rechnung getragen wird?

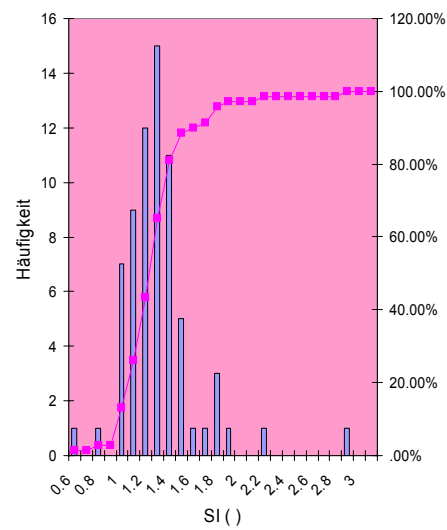
Wo liegen mögliche SI-Grenzen, um sachgerechte Massnahmen ergreifen zu können?

Peter Spohn
6. Mai 2008

Massgebend für die Festlegung soll der von den ARAs mutmasslich verursachten Schäden im Gewässer sein.

WWW: SI aktuell

	1986-2007	2008
Anzahl Proben	3'953	140
Anzahl ARAs	var.	69
Minimum	0.345	0.482
Median	1.468	1.248
Maximum	8.067	2.886



Peter Spohn
6. Mai 2008

Im Jahr 2008 erhobene SI liegen tiefer als die Mittel langjähriger Messserien. Der Grund liegt darin, dass viele Massnahmen zur Reduktion der Schadstoffeinträge an der Quelle erfolgreich waren.

Der Median liegt zurzeit bei 1.248 und die Streuung der Daten ist geringer geworden.

WWW: Routine- programm

Ansatz: Massgebendes
Schadenpotential

- SI
- ARA-Grösse

Schadstoffgewichtete
ARA-Grösse (EW*)
= SI * Dim'grösse



Peter Spohn
6. Mai 2008

Die von den ARAs verursachten Schäden sind abhängig vom SI und von der Grösse der ARA. Aus diesen beiden Grössen kann durch Multiplikation die massgebende schadstoffgewichtete ARA-Grösse, gemessen in schadstoffgewichteten Einwohnerwerten (EW*), errechnet werden.

blau: $EW^* < 10'000$

→ 1 Messung / Jahr

grün: $10'000 \leq EW^* < 20'000$

→ 2 Messungen / Jahr

gelb: $20'000 \leq EW^* < 100'000$

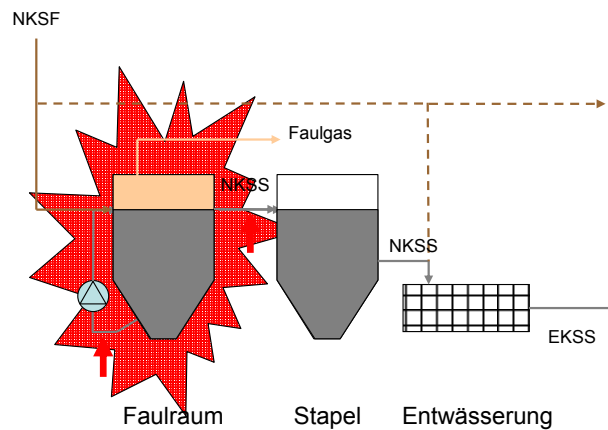
→ 3 Messungen / Jahr

rot: $EW^* > 100'000$

→ 4 Messungen / Jahr

WWW: Routineprogramm

Probenahmeort: Faulraum



Peter Spohn
6. Mai 2008

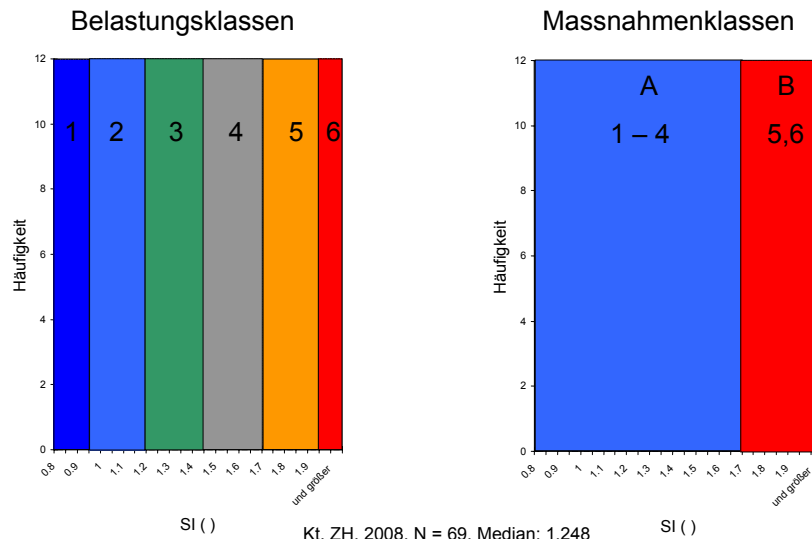
Früher wurde sog. Abgabeschlamm aus dem Stapelbehälter beprobt. Das machte im Hinblick auf die landwirtschaftliche Verwertung Sinn. Das AWEL hat sich entschieden, im Rahmen des Routineprogramms Klärschlammproben aus dem Faulraum zu untersuchen. Die Vorteile der Beprobung des Faulraums sind die folgenden:

- Probe ist immer gut durchmischt
- Absetzung im Stapelbehälter muss nicht gestört werden wegen Probenahme
- Geringere Fehleranfälligkeit durch regelmässige Durchmischung des Faulraums und damit einher gehender verbesserter Repräsentativität
- analytische Vorteile bei der Messung der Proben in Folge gleichmässigeren TR-Gehalts

Im Kanton Zürich werden Schlämme mit folgenden Codes unterschieden: NKSS, NKST, NKSF, EKSS, EKST, EKSF, TKSS. NKS_ bezieht sich auf nassen, d.h. flüssigen Klärschlamm, EKS_ auf entwässerten Klärschlamm, TKS_ auf getrockneten Klärschlamm. Der letzte Buchstabe des Codes gibt an, ob es sich dabei um stabilisierten (___S) -, teilstabilisierten (___T) - oder um Frischschlamm (___F) handelt.

Zur Zeit wird abgeklärt, ob sich durch den Wechsel des Probenahmeortes gegenüber früher signifikante Änderungen der Messresultate ergeben.

WWW: SI – aktuelle Verteilung



Peter Spohn
6. Mai 2008

Wie sind die in einem gewissen Bereich anfallenden SI zu beurteilen? Ist beispielsweise ein SI von 1.50 als gross oder als klein anzusehen?

Die Erklärung der Bedeutung des SI ist nicht ganz einfach, weil für die Beurteilung der absoluten Grösse die Erfahrung und damit der Massstab fehlt. Folgende SI-Klassen erleichtern den ARA-Inhabern und -Betreibern die Orientierung:

< 0.90	SI-Klasse 1	Belastung gering
0.90 <= SI < 1.15	SI-Klasse 2	Belastung mässig
1.15 <= SI < 1.40	SI-Klasse 3	Belastung mittel
1.40 <= SI < 1.65	SI-Klasse 4	Belastung erheblich
1.65 <= SI < 1.90	SI-Klasse 5	Belastung gross
>= 1.90	SI-Klasse 6	Belastung sehr gross

Vorschlag zur Bildung von Massnahmenklassen (M-Klassen):

Sollten sich die aktuellen SI-Verteilungen in der Langzeitbeobachtung bestätigen, dann ist die Bildung folgender M-Klassen zweckmässig:

SI < 1.65 M-Klasse A: enthalten Schlämme der SI-Klassen 1-4, hier 63 von 69, d.h. 91 % der Schlämme.
Es sind keine weiteren Massnahmen angezeigt.

SI >= 1.65 M-Klasse B: enthalten Schlämme der SI-Klassen 5 und 6, hier 6 von 69, d.h. 9 % der Schlämme.
Schlämme stehen unter vertiefter Beobachtung und es sind sachgerechte Massnahmen zu erwägen.

Sowohl die SI-Klassen als auch die M-Klassen werden vom AWEL periodisch überprüft und erst nach Vorliegen einer grösseren Anzahl Messungen definitiv festgelegt. M-Klassen sind ein AWEL-internes Vollzugshilfsmittel.

WWW: Prüfbericht heute

Abwasserreinigungsanlage:
ARA-Nr.: 10301 Code: [redacted]
Analyseartikeln: (Probe vom 31.03.2008)
TK, CR, CR, Aufschlamm
Eisenbindesubstanz
Organische Substanz

Datum der Probenahme:	31.03.2008	21.01.2008
Probe erhoben durch:	ARA	ARA
Art des Schlammes:	NKSS	NKSS

Datum der Probenahme	31.03.2008	21.01.2008	12.11.2007	01.10.2007	09.07.2007	22.01.2007
Probe erhoben durch: Art des Schlammes	ARA NKSS	ARA NKSS	ARA FKSS	ARA FKSS	ARA FKSS	ARA FKSS
Trockenmasseanteil (%)	2.44	2.59	2.63	2.64	2.70	1.90
Ölbindesubstanz (GBS) % von TS	43.7	44.9	42.8	38.7	40.8	41.0
Organische Substanz (OS) % von TS	50.3	51.4	52.2	48.3	51.8	50.9
Phosphor (P) g/kg TS	76.0	61.9	61.2	31.3	76.1	56.7
Calcium (Ca) g/kg TS	36.0	31.9	58.7	42.3	65.1	47.7
Magnesium (Mg) g/kg TS	6.00	7.80	6.40	7.80	6.10	6.00
Kalium (K) g/kg TS	8.90	8.80	6.70	4.60	7.20	6.70
Schwefel gesamt (S) g/kg TS						
Schwefelstoffe (g/kg TS) Stickstoff						
Gesamtstickstoff (g/kg TS)	5	6.50	6.00	6.04	5.8	6.8
Mikrostickstoff (g/kg TS)	20	15	10	10	10.8	10
Calcium (Ca) g/kg TS	6.00	5.00	1.77	1.4	3.28	1.7
Kalium (K) g/kg TS	80	20	20	20	30	20
Natrium (Na) g/kg TS	80	40.7	63.1	100	47.6	50.8
Chlorid (Cl) g/kg TS	500	111	224	380	142	188.9
Kupfer (Cu) g/kg TS	600	375	402	420	537.8	471.0
Blei (Pb) g/kg TS	500	36.3	48.2	38.8	41.8	48.8
Zink (Zn) g/kg TS	2000	811	913	880	858	901.7
Silber (Ag) g/kg TS						
Organische Substanz (OS) g/kg TS					240	338



Legende:
ARA: Abwasserreinigungsanlage; ARA-Nr.: Abwasserreinigungsanlage-Nr.; Code: Abwasserreinigungsanlage-Code
TK: Trockensubstanz; CR: Calcium; CR: Calcium; CR: Calcium
Aufschlamm: Aufschlamm
Eisenbindesubstanz: Eisenbindesubstanz
Organische Substanz: Organische Substanz

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Baudirektion Kanton Zürich
Kantonstrasse 11
8002 Zürich
Telefon: 044 444 41 41
Telefax: 044 444 41 80

Prüfbericht erstellt am: 21.05.2008 von: P. Spohn

Seite 1 von 1

Peter Spohn
6. Mai 2008

Art und Umfang der vom AWEL neu durchgeführten Umweltbeobachtung durch Überwachung der Klärschlammqualität wurde dem Betriebspersonal der Zürcher ARAs Ende 2007 umfassend erläutert. Neue Prüfberichte werden vom AWEL seit Beginn 2008 versandt. Zu jeder Messung wird der SI ausgewiesen und klassifiziert.

Der Versand der neuen Prüfberichte hat kein grosses Echo auf Kundenseite ausgelöst. Daraus wird geschlossen, dass das System akzeptiert wird.

Vereinzelte Anfragen von Kunden haben zur sukzessiven Verbesserung des Systems geführt.

WWW: **Wie** gross ist der Aufwand?

- Aufwand früher erheblich wegen:
 - flächendeckenden und zeitlich umfassenden (Februar bis Oktober) Untersuchungen aller ARAs, häufigen Nachmessungen in Folge nicht repräsentativer Proben und grossem administrativem Aufwand.
- Aufwand heute reduziert dank:
 - langfristiger Planbarkeit, deutlicher Verringerung der Anzahl Messungen, selten notwendiger Nachmessungen und geringem adm. Aufwand.

Schätzung: Aufwand heute < 1/3 Aufwand früher

WWW: Wir wollen weiterhin ...

- den erreichten Standard halten, d.h.
 - den Überblick über die Schadstoffquellen behalten
 - weiterhin gezielt eingreifen können
 - langfristige Tendenzen wahrnehmen
 - generelle Massnahmen anordnen können
- den Standard mittel- bis langfristig verbessern, d.h.
 - die Analytik auf ausgesuchte Stoffklassen ausdehnen (organische Schadstoffe)
 - die Basis für die Beurteilung der ARA-Abflüsse verbreitern

Peter Spohn
6. Mai 2008

Durch die Änderung der Überwachung der Klärschlammqualität werden personelle Ressourcen frei gesetzt. Diese sollen künftig bei der Bearbeitung dringender neuer Fragestellungen, z.B. im Bereich Mikroverunreinigungen, eingesetzt werden.

So ist es möglich, mittel- bis langfristig den Standard der Umweltbeobachtung zu halten und gleichzeitig zu verbessern.

Wir wollen weiterhin die bereits seit langer Zeit überwachten Entwicklungen weiter verfolgen. Darüber hinaus wollen wir uns aber auch kompetent den neuen Herausforderungen im Gewässerschutz stellen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Peter Spohn
6. Mai 2008