Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abfallwirtschaft und Betriebe / Gewässerschutz / Wasserbau

Gefährdungsabschätzung und Beurteilung von belasteten Standorten in Seen

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Wasserforschungsinstitut Eawag

Schweizerisches Zentrum für Angewandte Humantoxikologie SCAHT

Dr. von Moos AG

Oktober 2016

Dr. von Moos AG
Geotechnisches Büro
Beratende Geologen und Ingenieure
8037 Zürich / 5401 Baden / 8214 Gächlingen www.geovm.ch

Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

scaht
Swiss Centre for Applied Human Toxicology
Schweizerisches Zentrum für Angewandte Humantoxikologie
Centre Suisse de Toxicologie Humaine Appliquée
Centro Svizzero di Tossicologia Umana Applicata

eawag
aquatic research

Inhalt

1. Einführung 4
2. Kriterien für einen KbS-Eintrag 5
3. Schutzziel aquatische Umwelt 6
4. Schutzziel Mensch 9
5. Beurteilungskonsequenzen hinsichtlich Handlungsbedarf 13
6. Zusammenfassung 14

Referenzen 15

Anhang

1 Kriterienblatt zur Beurteilung eines belasteten Standorts

Autoren/Projektgruppe im Auftrag des AWEL:

Dr. Bettina Flury (Projektleitung)	AWEL, Abfallwirtschaft und Betriebe, Altlasten, Weinbergstrasse 34, 8090 Zürich
Werner Frei	AWEL, Abfallwirtschaft und Betriebe, Altlasten, Weinbergstrasse 34, 8090 Zürich
Christian Balsiger	AWEL, Gewässerschutz, Oberflächengewässerschutz, Hardturmstrasse 105, 8090 Zürich
Dr. Pius Niederhauser	AWEL, Gewässerschutz, Oberflächengewässerschutz, Hardturmstrasse 105, 8090 Zürich
Dr. Beat Rick	Dr. von Moos AG, Bachofnerstrasse 5, 8037 Zürich
Dr. Stefan Wallier	Dr. von Moos AG, Mäderstrasse 8, 5401 Baden

Autoren/Experten:

Dr. Lothar Aicher	Schweizerisches Zentrum für Angewandte Humantoxikologie, Universität Basel, Missionsstrasse 64, 4055 Basel
Prof. Dr. Bernhard Wehrli	Eawag, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum

1. Einführung

Siedlungsabwasser und gewerblich genutztes Wasser wurden bis in die 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts unbehandelt in Gewässer eingeleitet. Seit der Industrialisierung Ende des 19. Jahrhunderts fanden auf diese Weise grosse Mengen an nicht oder nur schwer abbaubaren Schadstoffen den Weg in die Schweizer Seen und lagerten sich dort ab. Es entstanden sowohl eine diffuse anthropogene Hintergrundbelastung als auch starke, punktuelle Verschmutzungen.

Im Gegensatz zur Landfläche, wo belastete Standorte flächendeckend im Kataster der belasteten Standorte (KbS) zu verzeichnen sind, wurden solche lokal begrenzten Belastungen im See weder erfasst noch existiert für die Beurteilung eine generelle Vorschrift bzw. Praxis.

Zur Abgrenzung von belasteten Standorten gegenüber der diffusen Hintergrundbelastung und zur Erfassung solcher Flächen im amtsinternen Kataster der belasteten Standorte hat das AWEL in einem ersten Schritt im Rahmen eines Pilotprojekts Kriterien festgelegt (vgl. Kapitel 2).

In einem zweiten Schritt wurde in Zusammenarbeit mit Experten des Wasserforschungsinstitutes Eawag und des Schweizerischen Zentrums für Angewandte Humantoxikologie (SCAHT) Kriterien für eine Gefährdungsabschätzung von belasteten Ablagerungen im See erarbeitet und ein Konzept für die altlastenrechtliche Beurteilung erstellt. Die Methodik ist nachfolgend zusammengefasst.

Die belasteten Standorte werden hinsichtlich ihrer Risiken auf die vorhandenen Schutzziele beurteilt. Die Schutzziele sind:

- **Aquatische Umwelt: ökotoxikologisches Risiko, Gewässerökologie**
- **Mensch: humantoxikologisches Risiko**

Übergeordnet wird der Standort hinsichtlich seiner Auswirkungen auf **Trinkwasserfassungen** und seiner **Langzeitstabilität** bewertet. Dies beinhaltet die Erosionsanfälligkeit bei Seerutschungen, Überschwemmungen und anderen extremen Ereignissen.

Je nach Schutzziel wurden mit den Experten die Kriterien zur Einteilung in Risikoklassen definiert, die mit den Signalfarben des Ampelsystems visualisiert werden:

- Grün: kein/geringes Risiko
- Gelb: mittleres Risiko
- Rot: grosses Risiko

Die Gesamtbeurteilung bezüglich eines Handlungsbedarfs erfolgt für jedes Schutzziel aufgrund von Risikofaktoren, die mittels Beurteilungsklassen gewertet werden. Ähnlich wie bei der altlastenrechtlichen Beurteilung am Land werden die Kriterien Schadstoffpotential, Exposition und Freisetzungspotential bewertet. Je nach Gewichtung bzw. Priorität der Risikofaktoren und/oder der Kombination von Gefährdungen wird entschieden, ob für einen belasteten Standort im See im KbS einzutragen ist und ein Sanierungsbedarf besteht oder nicht (vgl. Kapitel 5). In Kombination mit der Altlastenverordnung (AltlV [3]) ist damit eine solide Grundlage für die Abgrenzung und Beurteilung eines belasteten Standortes im See vorhanden.
In einem separaten Bericht [1] ist eine generell geeignete Methodik zur Abklärung von Belastungen im Seesediment der Züricher Seen aufgezeigt. Durch das darin beschriebene Vorgehen werden Daten erhoben, die zur Erfassung von Flächen im Kataster der belasteten Standorte und zur Beurteilung und Gefährdungsabschätzung eines belasteten Standorts im See dienen.

2. Kriterien für einen KbS-Eintrag

Im Rahmen eines Pilotprojekts wurden entlang eines rund 9 km langen Uferabschnitts des Zürichsees systematisch über 100 Sedimentproben entnommen und analysiert. Ziel war es, die Belastungssituation in den Seen des Kantons Zürich zu erfassen und Kriterien zur Abgrenzung von belasteten Standorten gegenüber der diffusen Hintergrundbelastung zu erarbeiten.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass insbesondere im tieferen Wasser (> 15 m) die obersten 30 cm des Sediments vielfach Belastungen aufweisen, die deutlich über den Grenzwerten für unverschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial (U-Werte) der Verordung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA [2]) liegen. Um belastete und örtlich begrenzte belastete Standorte im Sinne des KbS zu erkennen, musste daher eine Obergrenze für die anthropogene Hintergrundbelastung im Zürichsee ermittelt werden.

Zur Ermittlung der Obergrenze für die anthropogene Hintergrundbelastung wurde für jeden Stoff das 95-Percentil dieser Proben aus zwei unbelasteten Referenzbereichen ermittelt und unter Berücksichtigung internationaler Richtwerte auf das nächste Vielfache des VVEA U-Wertes als Orientierungswert aufgerundet (vgl. Tabelle 1). Die ermittelten Hintergrundwerte der einzelnen Stoffe liegen im Bereich der PEC-Werte (probable effect concentration [4], vgl. Kapitel 3). Bei einer Überschreitung der PEC-Werte sind schädliche Effekte auf die im Sediment lebenden Organismen häufig.

Zur Abgrenzung einzelner belasteter Standorte im See wurden in Absprache mit der Eawag Beurteilungskriterien festgesetzt (vgl. Anhang 1). Ein Eintrag in den Kataster der belasteten Standorte erfolgt, wenn im Umkreis von 100 m bei mindestens zwei Sedimentproben der obersten 30 cm Belastungen über einem der 5-fachen Hintergrundwerte vorliegen. Ist dies der Fall, muss die Voruntersuchung grundsätzlich prioritär angeordnet werden, da sich die Belastung bereits im Schutzgut Oberflächengewässer befindet.

Der Eintrag in den KbS erfolgt gestützt auf AltlV Art. 2 Abs. 1, wonach ein belasteter Standort einer anthropogenen Schadstoffquelle zuordenbar sein muss, eine beschränkte Ausdehnung aufweist und einem der drei Standorttypen (Ablagerungsstandort, Betriebsstandort oder Unfallstandort) zugeordnet werden kann.

Tabelle 1: Zusammenstellung Orientierungswerte

		Bewertungskriterien KbS Seesediment			Literaturwerte zur Ökotoxikologie	
Stoff	Einheit	**VVEA U [2]**	**Hintergrund-wert** [1)]	**5-facher Hintergrundwert**	**TEC**	**PEC**
Arsen	mg/kg TR	15	15	75	9.79	33
Blei	mg/kg TR	50	200	1000	35.8	128
Cadmium	mg/kg TR	1	6	30	0.99	4.99
Chrom (gesamt)	mg/kg TR	50	150	750	43.4	111
Kupfer	mg/kg TR	40	80	400	31.6	149
Nickel	mg/kg TR	50	50	250	22.7	48.6
Zink	mg/kg TR	150	300	1500	121	459
Quecksilber	mg/kg TR	0.5	1	5	0.18	1.06
Kobalt	mg/kg TR		11	55		
Molybdän	mg/kg TR		2	10		
Zinn	mg/kg TR		200	1000		
PCB (Total)	µg/kg TR	100			59	676
PCB (Summe 6 i-PCB[2)])	µg/kg TR	23.3 [2)]	70	350	13.7	157
PAK Summe (16 EPA)	mg/kg TR	3	12	60	1.61	22.8
Benzo(a)pyren (BaP)	mg/kg TR	0.3	0.9	4.5	0.15	1.45
KW-Index	mg/kg TR	50	400	2000		

[1)] Obergrenze Hintergrundkonzentration Sedimente Zürichsee
[2)] Summe bestehend aus: PCB 28/52/101/153/138/180, ohne PCB 118; Total PCB durch 4.3 geteilt

3. Schutzziel aquatische Umwelt

Für die Bewertung der Auswirkungen von belasteten Ablagerungen im See wurden in Zusammenarbeit mit der Eawag folgende Risikofaktoren beurteilt:

- Schadstoffpotential = ökotoxikologisches Risiko
- Exposition = Kontakt mit aquatischer Umwelt (u.a. Aufnahme in Nahrungskette)
- Freisetzungspotential = Mobilisierbarkeit von Schadstoffen durch mechanische oder thermische Einwirkungen

Schadstoffpotential

Das ökotoxikologische Risiko wird in der internationalen Literatur mit den sogenannten TEC (threshold effect concentration) und PEC (probable effect concentration) ermittelt [4]. Der TEC-Wert definiert eine stoffspezifische Schwelle der **Sedimentbelastung**, jenseits welcher toxikologische Effekte auf Lebewesen in Gewässern schon festgestellt wurden. Wird der PEC-Wert überschritten, sind ökotoxikologische Effekte zu erwarten, wenn Gewässerorganismen mit dem Sediment in Kontakt kommen. Bei einer Überschreitung des PEC-Wertes liegt ein mittleres und bei einer 10-fachen Überschreitung ein grosses Schadstoffpotential vor. Die Schadstoffkonzentration c_{sed} im Sediment wird dabei auf das Trockengewicht der Sedimentprobe bezogen.

Für die Zuordnung der stoffspezifischen Schadstoffkonzentration im Sediment c_{sed} in Beurteilungsklassen wurden folgende Kriterien verwendet:

Konzentration c_{sed}	**ökotoxikologisches Risiko bzw. Schadstoffpotential**	**Farbcode**
c_{sed} < PEC	klein	
PEC < c_{sed} < 10xPEC	mittel	
10xPEC < c_{sed}	gross	

Exposition

Für den Kontakt zwischen Schadstoffen und Organismen ist die **Einlagerungstiefe der Schadstoffe im Sediment** entscheidend. Der typische Transfer zwischen Schadstoffen im Sediment und dem Ökosystem See erfolgt über zwei Wege: Der **direkte Eintrag in die Nahrungskette** erfolgt über die Aktivität von Würmern und Insektenlarven im Sediment sowie Schnecken und Muscheln auf dem Sediment. Würmer und Insektenlarven, welche das Sediment durchwühlen, erreichen eine maximale Sedimenttiefe von rund 5 cm. Kontaminationen in der Nähe der Sediment-Wasser Grenzfläche bergen daher ein grosses Risiko für den Eintrag in die Nahrungskette.
Der zweite, indirekte Weg führt über die **diffusive Freisetzung von Schadstoffen in gelöster Form**. Wenn die Wasserlöslichkeit und Totalkonzentration eines Schadstoffs in einer Sedimentschicht bekannt sind, kann die Freisetzungsrate vom Sediment in den See theoretisch abgeschätzt werden. Diese nimmt im einfachsten Fall linear mit der Distanz zur Sedimentoberfläche ab. Die Freisetzungsrate kann aber auch mittels einer Näherung abgeschätzt werden. Schadstoffe, die aufgrund der natürlichen Sedimentation mit einer mind. 30 cm mächtigen, unverschmutzten Sedimentschicht überdeckt sind, dürften sich durch eine geringe Wasserlöslichkeit auszeichnen, da die löslichen Stoffe während der vergangenen Jahrzehnte bereits grösstenteils mobilisiert wurden. Die Freisetzungsrate von Sedimentbelastungen nimmt entsprechend mit einer zunehmenden Überdeckung mit unverschmutztem Sediment ab.
Die Beurteilung für die Exposition erfolgt somit über die Einlagerungstiefe im Sediment. Die Beurteilungsklassen wurden wie folgt festgelegt:

Einlagerungstiefe der Sedimentbelastung	**Risiko für Eintrag in die Nahrungskette**	**Farbcode**
> 30 cm	klein	
10 – 30 cm	mittel	
< 10 cm	gross	

Freisetzungspotential

Das Freisetzungspotential hängt von der **Wassertiefe**, der **Einlagerungstiefe von Schadstoffen im Sediment** sowie von der **Mobilisierbarkeit der Schadstoffe ins überstehende Wasser bei einer Aufwirbelung** ab.

Die **Wassertiefe** spielt für das Risiko einer Schadstoffmobilisierung aus Sedimentschichten eine zentrale Rolle. Starke Wellen bei einem Sturmereignis können Sedimente bis in einige Meter Wassertiefe aufwirbeln. Bei Wassertiefen von mehr als ca. 5 Meter ist dies jedoch kaum mehr möglich. Sedimente, welche mit der Licht durchfluteten Seeschicht (dem sogenannten Epilimnion) in Kontakt stehen, erwärmen sich im Sommer. Dies führt bei produktiven Seen zu einer raschen Methanbildung im Sediment, die oft mit dem Aufstieg von Gasblasen verbunden ist. Damit können Schadstoffe aus dem Sediment mitgerissen und an die Oberfläche transportiert werden. Dies trifft vor allem auf Öltröpfchen zu, welche spezifisch leichter als Wasser sind. Die warme Seeschicht reicht je nach Lage eines voralpinen Sees typischerweise bis in 10-20 Meter Wassertiefe. Diese ufernahen Sedimente sind auch durch menschliche Eingriffe (Verankerungen, Taucher etc.) am stärksten gefährdet. Im Bereich der grössten Tiefe eines Seebeckens ist die Gefahr einer Mobilisierung von Schadstoffen am geringsten, weil dort keine Rutschungen auftreten. Eine qualitative Risikoskala für die Freisetzung von Sedimentbelastungen hinsichtlich der Wassertiefe wird daher wie folgt festgelegt:

Wassertiefe	**Risiko einer Freisetzung von Schadstoffen aus dem Sediment**	**Farbcode**
>20 m	klein	
5 – 20 m	mittel	
< 5 m	gross	

Die **Einlagerungstiefe** von Belastungen im Sediment ist auch hinsichtlich einer mechanischen Verletzung des Sediments von Bedeutung. Anker dringen typischerweise weniger als 30 cm ins Sediment ein. Belastete Schichten in Sedimenttiefen von mehr als 30 cm werden deshalb nur in Ausnahmesituationen gestört. Die diesbezüglichen Risikoklassen wurden wie folgt definiert:

Einlagerungstiefe der Sedimentbelastung	**Risiko für Mobilisierung durch mechanische Verletzung (z.B. Anker)**	**Farbcode**
> 60 cm	klein	
30 – 60 cm	mittel	
< 30 cm	gross	

Bei einer Mobilisierung bzw. **Aufwirbelung** von belastetem Sediment müssen nicht zwingend Schadstoffe freigesetzt werden. Je nach Stoff oder je nachdem wie der Stoff vorliegt, fällt die Kontamination des überstehenden Wassers unterschiedlich stark aus. Mittels Aufschlämmversuche (Aufwirbelung einer Sedimentprobe und Beproben des

überstehenden Wassers nach verschiedenen Zeitintervallen) kann diese Kontamination abgeschätzt werden. Als Referenzwerte werden die Konzentrationswerte gemäss Anhang 1 der AltlV angewendet (K-Werte). Gemäss Art. 10 Abs. 2 Bst. a AltlV ist ein Standort bezüglich der Einwirkung auf ein Oberflächengewässer sanierungsbedürftig, wenn im Wasser, das in ein oberirdisches Gewässer gelangt, die Konzentration von Stoffen, die vom Standort stammen, das Zehnfache eines Konzentrationswertes überschreitet. Die Beurteilungskriterien wurden wie folgt festgelegt:

Schadstoffkonzentration im überstehenden Wasser	**Risiko für Eintrag ins Oberflächengewässer**	**Farbcode**
< K-Wert AltlV	klein	
> K-Wert AltlV	mittel	
> 10xK-Wert AltlV	gross	

4. Schutzziel Mensch

Die Methodik zur humantoxikologischen Gefährdungsabschätzung von belasteten Seesedimenten wurde durch das Schweizerische Zentrum für Angewandte Humantoxikologie (SCAHT) erarbeitet. Das Gesundheitsrisiko, welches von belasteten Seesedimenten auf den Menschen ausgeht, hängt nicht nur davon ab, wie giftig eine Substanz ist und wie viel davon in der Umwelt vorhanden ist, sondern auch davon, wie viel in den menschlichen Körper gelangt und auf welchem Weg. Der Körper kann Chemikalien auf verschiedenen Wegen aufnehmen:

- Verschlucken (oral)
- Über die Haut (dermal)
- Einatmen (inhalativ)

Generell müssen alle drei Aufnahmewege bei der Risikobeurteilung berücksichtigt werden und die Risikobewertung muss substanzspezifisch erfolgen. Allerdings lassen sich je nach Aktivitäten im See und den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Substanzen Gesundheitsrisiken als Folge bestimmter Aufnahmepfade priorisieren.

In erster Näherung kann davon ausgegangen werden, dass beim Baden hauptsächlich Seewasser aber kein Seesediment verschluckt wird. Beim Spielen in ufernahen Bereichen kann sowohl Seewasser als auch Seesediment verschluckt werden. Beim Gehen in ufernahen Bereichen wird weder Seewasser noch Seesediment verschluckt.

In den allermeisten Fällen stellt das Verschlucken von belastetem Sediment beim Spielen im ufernahen Bereich das grösste Risiko einer Schadstoffaufnahme dar.

Bei allen Aktivitäten kommt ein Teil der Haut in Kontakt mit dem belasteten Seewasser und/oder Sediment und eine Aufnahme von Schadstoffen über die Haut ist generell möglich. Wie viel tatsächlich über die Haut aufgenommen wird, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Die wichtigsten sind die Schadstoffkonzentration, die Verweildauer der Substanz auf der Haut, die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Substanz, die massgeblich bestimmen wie tief eine Substanz in die Haut eindringen kann, der

Gesundheitszustand der Haut (z.B. Wunden) und der unterschiedlichen Hautpartien bzw. Körperteilen, die Wasser- oder Sedimentkontakt haben.

Auch durch das Einatmen belasteter Luft können Schadstoffe in den Körper gelangen. Die Aufnahmerate wird wiederum massgeblich von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Substanz bestimmt. Leicht flüchtige Substanzen können aus dem Seewasser/Sediment entweichen. Inwiefern dadurch ein Gesundheitsrisiko entsteht, hängt vom Zeitraum zwischen der Kontamination des Sees und den Badeaktivitäten ab. Es muss überprüft werden, ob der zeitliche Abstand hinreichend gross ist und leicht flüchtige Schadstoffe bereits grösstenteils aus dem See entwichen sind. Theoretisch ist das Einatmen von Schadstoffen aus dem See in Form feiner Sprühnebel möglich. Ob solche Bedingungen bei den Badeaktivitäten entstehen, muss geprüft werden.

Das Gefährdungspotential ist eine inhärente Stoffeigenschaft, die die Möglichkeit eines Stoffes beschreibt, unter bestimmten Umständen Gesundheitsschäden zu verursachen. Wie wahrscheinlich diese Gesundheitsschäden sind, hängt neben der Menge eines Schadstoffes, die in unseren Körper gelangt, auch von der Häufigkeit ab, mit der wir den Schadstoff aufnehmen.

Man unterscheidet zwischen akuter Toxizität nach einmaliger Exposition und (sub)chronischer Toxizität nach wiederholter bzw. lebenslanger Exposition. Für die Risikoabschätzung gegenüber Schadstoffen aus dem See sind zunächst beide Szenarien zu prüfen. Akute Vergiftungserscheinungen wären beim Aufenthalt im See nach einer aktuellen Kontamination, wie z.B. nach einem Chemieunfall oder dem unsachgemässen Einleiten stark belasteter Abwässer denkbar. Deshalb ist zu prüfen, ob solche Vorfälle stattgefunden haben. Weitaus relevanter erscheint jedoch die Frage nach möglichen Gesundheitsschäden durch den häufigen Aufenthalt in einem Badesee, der mit geringen Schadstoffkonzentrationen belastet ist ((sub)chronische Toxizität).

Schutzziel Kleinkind

Bei der Beurteilung des Gesundheitsrisikos müssen besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen, wie Ältere, Kranke, Schwangere, Säuglinge und Kinder besonders berücksichtigt werden.

Bei der Beurteilung des Gesundheitsrisikos durch schadstoffbelastete Seen stehen Kleinkinder im Alter von 1-3 Jahren im Vordergrund. Kleinkinder sind aufgrund noch nicht abgeschlossener Entwicklungsprozesse besonders empfindlich gegenüber Chemikalien. Ausserdem sind sie aufgrund ihres Spielverhaltens (Spielen im Sediment, unbeabsichtigtes Verschlucken von Sediment durch zahlreiche Hand-Mund-Kontakte) oft stärker exponiert als ältere Kinder und Erwachsene. Deshalb sind Kleinkinder im Hinblick auf eine direkte Aufnahme von Schadstoffen aus dem See besonders gefährdet und Risikobetrachtungen für Kleinkinder bieten hinreichend Schutz auch für andere empfindliche Bevölkerungsgruppen.

Der Fokus der Risikobeurteilung auf Kleinkinder hat eine weitere praktische Relevanz, weil für diese Altersgruppe häufig Daten zur Hintergrundbelastung publiziert sind. Dadurch ist es möglich eine zusätzliche Belastung aus dem See mit der unvermeidbaren Belastung des gleichen Stoffes aus der Nahrung oder der Atemluft zu vergleichen und verschiedene Risikominimierungsmassnahmen zu priorisieren.
Für die Risikoabschätzung geht das SCAHT davon aus, dass ein Kleinkind täglich 100 mg Sediment pro Tag aufnimmt und 50 ml Wasser pro Stunde Aufenthalt im See verschluckt.

Beurteilungskriterien

Im Rahmen der humantoxikologischen Risikobeurteilung von belasteten Seesedimenten werden aufgrund obiger Ausgangslage solche Situationen beurteilt, die einen Direktkontakt des Menschen bzw. Kleinkindes mit dem belasteten Sediment erlauben. D.h. es werden frei zugängliche Sedimentbelastungen berücksichtigt, die nicht mit weniger oder unverschmutztem Sediment überlagert sind und sich in einer Wassertiefe von weniger als 2 m (schwimmen, gehen, tauchen) bzw. bei Niedrigwasser von weniger als 0.5 m (Bade-Spiel-Bereich) befinden.

Um festzustellen, ob das Verschlucken von Seesediment ein Gesundheitsrisiko für den Menschen bzw. für das Kleinkind darstellt, wird stufenweise vorgegangen.
In einem ersten Schritt wird die Aufnahme von Schadstoffen aus dem See mit den **zulässigen gesundheitlich unbedenklichen Grenzwerten** für die einzelnen Schadstoffen verglichen. Solche Grenzwerte werden durch verschiedene international anerkannte wissenschaftliche Gremien (z.B. von der Europäischen Lebensmittelgesundheitsbehörde EFSA oder der Weltgesundheitsorganisation WHO) festgelegt.

In einem zweiten Schritt wird die Schadstoffaufnahme aus dem See mit der **unvermeidbaren Hintergrundbelastung** des Menschen gegenüber den gleichen Chemikalien aus der Atemluft, der Nahrung und anderen Konsumgütern und Gebrauchsgegenständen verglichen. Nur so kann abgewägt werden, ob die Aufnahme von Seewasser und -sediment eine grosse zusätzliche Gesundheitsbelastung für den Menschen darstellt.

Die humantoxikologische Bewertung erfolgt stoffspezifisch und berücksichtigt sowohl die direkte Stoffaufnahme in Bezug auf den spezifischen gesundheitlich unbedenklichen Grenzwert als auch die unvermeidbare Hintergrundbelastung (zusätzliches Gesundheitsrisiko im Vergleich zum Risiko durch die bereits vorhandenen, unvermeidbare Hintergrundbelastung). Die Beurteilungskriterien wurden wie folgt festgelegt:

Schadstoffpotential

Schadstoffaufnahme im Vergleich zum Grenzwert und zur unvermeidbaren Hintergrundbelastung	**Zusätzliches Gesundheitsrisiko**	**Farbcode**
Schadstoffaufnahme aus dem See < Grenzwert und < 10 % der unvermeidbaren Hintergrundbelastung	klein	
Schadstoffaufnahme aus dem See > Grenzwert aber < 10 % der unvermeidbaren Hintergrundbelastung oder Schadstoffaufnahme aus dem See < Grenzwert aber > 10 % der unvermeidbaren Hintergrundbelastung	mittel	
Schadstoffaufnahme aus dem See > Grenzwert und > 10 % der unvermeidbaren Hintergrundbelastung	gross	

Exposition

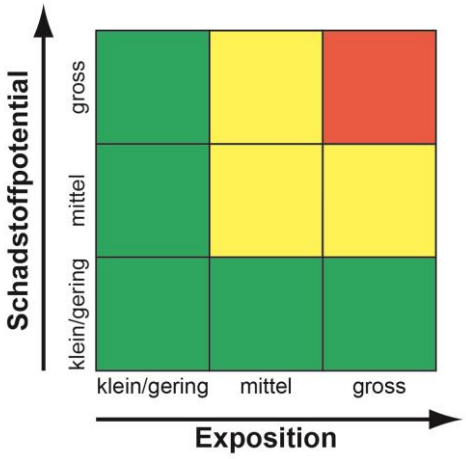
Wassertiefe	**Risiko eines Direktkontaktes mit Schadstoffen aus dem Sediment**	**Farbcode**
> 2 m (schwimmen)	klein	
0.5 – 2 m (schwimmen, gehen, tauchen)	mittel	
< 0.5 m (Badespielplatz)	gross	

Eine Sanierungsmassnahme im See wird dann als sinnvoll erachtet, wenn sie wesentlich zur Reduktion der Gesamtbelastung des Menschen gegenüber den jeweiligen Schadstoffen beiträgt.

5. Beurteilungskonsequenzen hinsichtlich Handlungsbedarf

Das Risiko eines Schadstoffes für den Menschen oder die Umwelt setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, dem Schadstoffpotential und der Exposition (u.a. Aufnahmemenge des Schadstoffes). In einer Risikomatrix, in welcher das Schadstoffpotential gegenüber der Exposition aufgetragen wird, kann mittels des Ampelsystems das Gesundheits- und Umweltrisiko dargestellt werden (vgl. folgendes Diagramm).

Die **altlastenrechtliche Beurteilung,** ob beim belasteten Standort ein Sanierungsbedarf vorliegt, erfolgt gestützt auf vorliegende Beurteilungsmatrix sowie gemäss AltlV Art. 10 Abs. 2 Bst. a und b.



Ein Handlungsbedarf wird ausgelöst, wenn das Schutzziel aquatische Umwelt und/oder das Schutzziel Mensch gefährdet ist, d.h. wenn sowohl das Schadstoffpotential als auch die Exposition gegenüber dem Schadstoff gross ist (rotes Feld).

Ist das Schadstoffpotential einer Substanz gering (relativ zum zulässigen Grenzwert), sind auch grössere Expositionen duldbar. Ebenso können Stoffe mit hohem Schadstoffpotential ohne Risiken sein, wenn Mensch oder Umwelt nur kleinsten Mengen dieser Substanz ausgesetzt sind. In beiden Fällen besteht kein unmittelbarer Handlungsbedarf (grüne Felder).

Der See stellt ein dynamisches System dar, bei dem sich die Schadstoffkonzentration durch Veränderung der Wassertiefe, der Wassertemperatur und dem pH-Wert verändern kann. In jenen Fällen, bei denen das Schadstoffpotential mittel bis gross und die Exposition mittel bzw. die Exposition gross und das Schadstoffpotential mittel ist (gelbe Felder), ist deshalb mittels des Risikos einer Schadstofffreisetzung (Freisetzungspotential) ein Handlungsbedarf abzuwägen. Die Einlagerungstiefe von Schadstoffen im Sediment und deren Mobilisierbarkeit ins überstehende Wasser kann z.B. durch Aufwirbelung beeinflusst werden und ein zusätzliches Risiko darstellen. Eine zusätzliche Freisetzung von Schadstoffen durch dynamische Prozesse im See ist besonders für die Risikobeurteilung stark toxischer Stoffe relevant, bei denen bereits kleine Erhöhungen der Schadstoffkonzentrationen im Wasser zu erheblichen zusätzlichen Risiken für den Menschen und die Umwelt führen können. Bei weniger toxischen Stoffen

kann eine zusätzliche Schadstofffreisetzung ausschlaggebend sein, wenn die Exposition ohnehin bereits hoch ist. In solchen Fällen besteht ebenfalls Handlungsbedarf.

Wird für einen belasteten Standort im See ein Handlungsbedarf festgestellt, ist die **Dringlichkeit von Massnahmen** im Einzelfall standortbezogen abzuwägen.

Belastete Standorte in Seen, die aufgrund der Gefährdungsabschätzung als **nicht sanierungsbedürftig** beurteilt werden, werden grundsätzlich im amtsinternen (nicht öffentlichen) Kataster der belasteten Standorte erfasst und als weder überwachungs- noch sanierungsbedürftiger belasteter Standort klassiert. Es ist sicherzustellen, dass diese Einträge bei allfälligen Bauvorhaben oder Nutzungsänderungen im Bereich dieser Flächen im Rahmen des Bewilligungsverfahrens berücksichtigt werden. Bei Spezialfällen kann ein Überwachungsbedarf angeordnet werden (z.B. abgelagerte Munition im See).

6. Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren wurden mehrere belastete Standorte in Seen erkannt. Zur Beurteilung solcher lokal begrenzter Belastungen im See existiert jedoch keine generelle Vorschrift bzw. Praxis. In Zusammenarbeit mit Experten des Wasserforschungsinstitutes Eawag und des Schweizerischen Zentrums für Angewandte Humantoxikologie (SCAHT) wurden deshalb Kriterien für eine Gefährdungsabschätzung von belasteten Ablagerungen im See erarbeitet und ein Konzept für die altlastenrechtliche Beurteilung erstellt.

Die belasteten Standorte werden hinsichtlich ihrer Risiken auf die Schutzziele aquatische Umwelt und Mensch beurteilt. Übergeordnet wird der Standort hinsichtlich seiner Auswirkungen auf Trinkwasserfassungen und seiner Langzeitstabilität bewertet.

Ähnlich wie bei der altlastenrechtlichen Beurteilung am Land werden die Kriterien Schadstoffpotential, Exposition und Freisetzungspotential bewertet. Ein Handlungsbedarf wird ausgelöst, wenn das Schutzziel aquatische Umwelt und/oder das Schutzziel Mensch gefährdet ist bzw. aufgrund der Lage (Rutschungsanfälligkeit, Nähe zu Trinkwasserfassungen) eine konkrete Gefahr für eine schädliche oder lästige Einwirkung auf das Gewässer besteht. In Kombination mit der AltlV ist damit eine solide Grundlage für die altlastenrechtliche Beurteilung vorhanden. Die Beurteilung und Anordnung von Massnahmen erfolgt für jeden Standort individuell anhand einer konkreten Verfügung.

Referenzen

[1] Methoden zur Untersuchung von belasteten Standorten in Seen, Oktober 2016, AWEL und Dr. von Moos AG

[2] Verordnung über die Vermeidung und die Entsorung von Abfällen (VVEA) vom 4. Dezember 2015, Stand: 19.7.2016

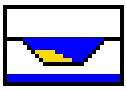
[3] Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltlV) vom 26. August 1998, Stand: 1.1.2016

[4] Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, D. D. MacDonald, C. G. Ingersoll, T. A. Berger, 2000

Kriterien zur Beurteilung eines belasteten Standorts

Standortklasse **Ablagerungsstandorte**

Standortgruppe **Wasser**

Standorttyp  **Sediment-belastungen in Seen**

Definition Unter Sedimentbelastungen in Seen verstehen wir Belastungen in einem grösseren, stehenden Gewässer, die von eingeleiteten oder abgelagerten Abfällen stammen, eine beschränkte Ausdehnung aufweisen und unter der Wasserlinie liegen.

Ist der Standort in den Kataster der belasteten Standorte (KbS) einzutragen?

(Art. 5 Abs. 1, 2 und 3 AltlV)

Ein **Eintrag** erfolgt, wenn im Umkreis von 100 Metern bei mindestens zwei Sedimentproben der obersten 30 cm Belastungen über einem der 5-fachen Hintergrundwerte vorliegen:

Stoff	**Hintergrundwert**[1] [mg/kg]	**5-facher Hintergrundwert** [mg/kg]
Arsen (As)	15	75
Blei (Pb)	200	1000
Cadmium (Cd)	6	30
Chrom gesamt (Cr)	150	750
Kobalt (Co)	11	55
Kupfer (Cu)	80	400
Molybdän (Mo)	2	10
Nickel (Ni)	50	250
Quecksilber (Hg)	1	5
Zink (Zn)	300	1500
Zinn (Sn)	200	1000
Aliphatische Kohlenwasserstoffe (KW-Index, C_{10}-C_{40})	400	2000
Polychlorierte Biphenyle (PCB, ∑6 i-PCB)[2]	0.07	0.35
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, ∑16 EPA)[3]	12	60
Benzo(a)pyren (BaP)	0.9	4.5

Falls ein Eintrag erfolgt: Muss der Standort untersucht werden? (Art. 5 Abs. 4 lit. b, Art. 5 Abs. 5 und Art. 7 AltlV)

Die Voruntersuchung muss grundsätzlich **prioritär** angeordnet werden.

[1] Obergrenze für diffuse, anthropogene Belastung der obersten Sedimentschicht (0 bis 30 cm) die im Rahmen des Pilotprojektes für den Zürichsee ermittelt wurden.
[2] ∑6 PCB-Kongenere: Nr. 28, 52, 101, 138, 153, 180
[3] ∑16 EPA-PAK: Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benz[a]anthracen, Chrysen, Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthen, Benzo[k]fluoranthen, Dibenz[a,h]anthracen, Benzo[g,h,i]perylen, Indeno[1,2,3-c,d]pyren