

Ein Überwachungsprogramm für den Stauraum Wettingen

Lukas Hunzinger, Dr. sc. techn.

Zusammenfassung

Im Stauraum des Limmatwerkes Wettingen liegt ein stark kontaminierter Sedimentkörper in geringer Tiefe unter dem Seegrund. Die Schadstoffe wurden bis in die 1970er Jahre mit Abwässern aus dem Einzugsgebiet in den Stauraum eingetragen und dort abgelagert. Es besteht heute ein geringes Risiko, dass sie wieder mobilisiert werden und in das Limmatwasser, das Grundwasser oder in die Nahrungskette gelangen. Neuere Untersuchungen zeigen zudem, dass die Kolmatierung der Flusssohle stellenweise wieder erodiert ist und dass vermehrt Flusswasser in Grundwasser infiltriert. Das führt dort zu einer größeren Sauerstoffzehrung und beeinträchtigt die Grundwasserqualität.

Im Rahmen der Konzessionserneuerung für das Limmatwerk Wettingen wurde der Betreiber des Kraftwerkes deshalb verpflichtet, den Stauraum und die angrenzenden Grundwasservorkommen langfristig zu überwachen. Mit einer sorgfältigen Überwachung können Veränderungen im Stauraum und in der Grundwasserqualität frühzeitig erkannt werden und gegebenenfalls rechtzeitig Maßnahmen zur Sicherung der Trinkwasservorkommen eingeleitet werden.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die flussmorphologischen Analysen, welche im Rahmen der Umweltverträglichkeitsberichte und im Hinblick auf die Überwachung des Stauraumes durchgeführt wurden.

Der Limmatstau Wettingen und seine Verlandungsgeschichte

Das Limmatwerk Wettingen wurde 1930-1933 durch das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) erstellt. Es nutzt die Wasserkraft der Limmat rund 25 km unterstrom der Stadt Zürich (Abb. 1). Das 18 m hohe Wehr staut die Limmat auf einer Länge von 8 km. Die Stauwurzel liegt bei Mittelwasser im Bereich der Straßenbrücke Dietikon-Oetwil a.d.L. Einzelheiten zum Kraftwerk und der geplanten Erneuerung sind dem Beitrag von Stöckli (2002) in diesem Band zu entnehmen.

Vor dem Einstau hatte sich die Limmat bis zu 20 m tief in die jüngsten glazialen Ablagerungen eingetieft. Sie bildete sog. Talmäander im Niederterrassenschotter. Durch den Bau des Kraftwerks wurden die Talmäander eingestaut. Das Geschiebe wird seither vollständig im Bereich der Stauwurzel abgelagert und der Geschiebetransport limmatawärts unterbrochen. Im Staubereich wurde die Sohle mit Feinsedimenten überdeckt.

Der Hauptstrom der Limmat orientiert sich an den Fixpunkten in den Kurvenaußenseiten. Diese sind weitgehend identisch mit den Fixpunkten, welche der Limmat schon vor dem Einstau die Richtung gewiesen haben. Zwischen den Fixpunkten kann sich die Hauptstromlinie innerhalb der Uferlinien in Abhängigkeit des Abflusses verlagern, wodurch es vor allem bei Hochwasserabflüssen zu einer gewissen Umlagerung von Feinsedimenten kommt.

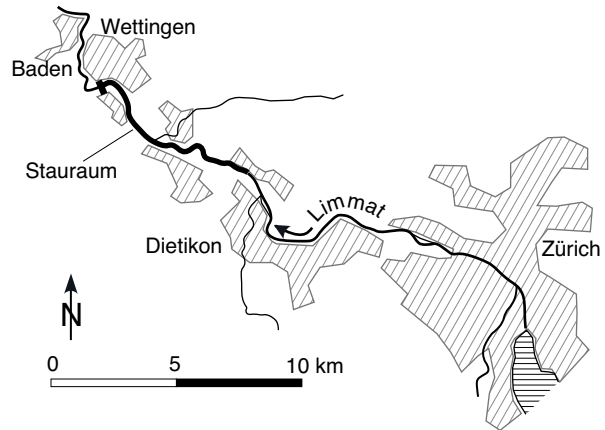


Abb. 1: Situation des Limmatwerks Wettingen.

Für die Beurteilung der Verlandungsgeschichte standen Querprofilaufnahmen der Jahre 1932-1997 und eine flächendeckende bathymetrische Vermessung aus dem Jahre 2000 zur Verfügung. Das Längenprofil des Talwegs (Abb. 2) veranschaulicht die bisherige Entwicklung der Flusssohle. Der Stauraum lässt sich in drei Zonen unterteilen:

1. Zone mit Geschiebeablagerung: Die Geschiebefront befindet sich z.Zt. ungefähr bei km 6.6. Die Auflandung schreitet fort. Aus Gründen der Hochwassersicherheit muss in den nächsten 10-20 Jahren periodisch Kies entnommen werden.
2. Zone mit abgeschlossener Verlandung mit Feinsedimenten (Sand/Silt): In den ersten Jahren nach dem Einstau wurden die Sedimente v.a. im oberen Bereich des Stauraumes abgelagert. Die Ablagerungen haben den Querschnitt unterdessen soweit reduziert, dass die Fließgeschwindigkeit bei Hochwasser ausreicht, um die Schwebstoffe weiter flussabwärts in den tieferen Bereich des Sees zu transportieren.
3. Zone mit fortschreitender Verlandung: Im untersten Bereich des Stausees ist die Verlandung mit Feinsedimenten noch nicht abgeschlossen und es werden sich auch in Zukunft noch Schwebstoffe ablagern. Die mächtigsten Ablagerungen liegen im Bereich des ursprünglichen Gerinnes, aber auch auf den überfluteten Schotterterrassen wurden Sedimente abgelagert. In den Flusskrümmungen sind die Profile deutlich gegliedert mit einer tiefen Rinne in den Außenseiten und seichten Zonen in den Kurveninnenseiten.

Während bei kleineren und mittleren Hochwassern Auflandungsprozesse dominieren, kann ein großes Hochwasser, wie dasjenige vom Mai 1999, über weite Strecken Erosionen bewirken (s. nächstes Kapitel).

Zukünftige Verlandungs- und Erosionsprozesse

Die Verlandungstendenz im Stauraum Wettingen wird mittel- und langfristig anhalten. Basierend auf der bisherigen Entwicklung wurde eine Prognose für die vollständige Verlandung des Stauraumes erarbeitet. Dazu wurde die Ablagerungsmächtigkeit an 90 verschiedenen Punkten im Stauraum aufgrund von logarithmischen Regression früherer Vermessungen extrapoliert (Abb. 3). Zu einem Zeitpunkt von über 100 Jahren nach dem Aufstau ist die Steigung der logarithmischen Funktion (Zunahme der Ablagerungsmächtigkeit) so klein, dass von einer abgeschlossenen Verlandung gesprochen werden kann.

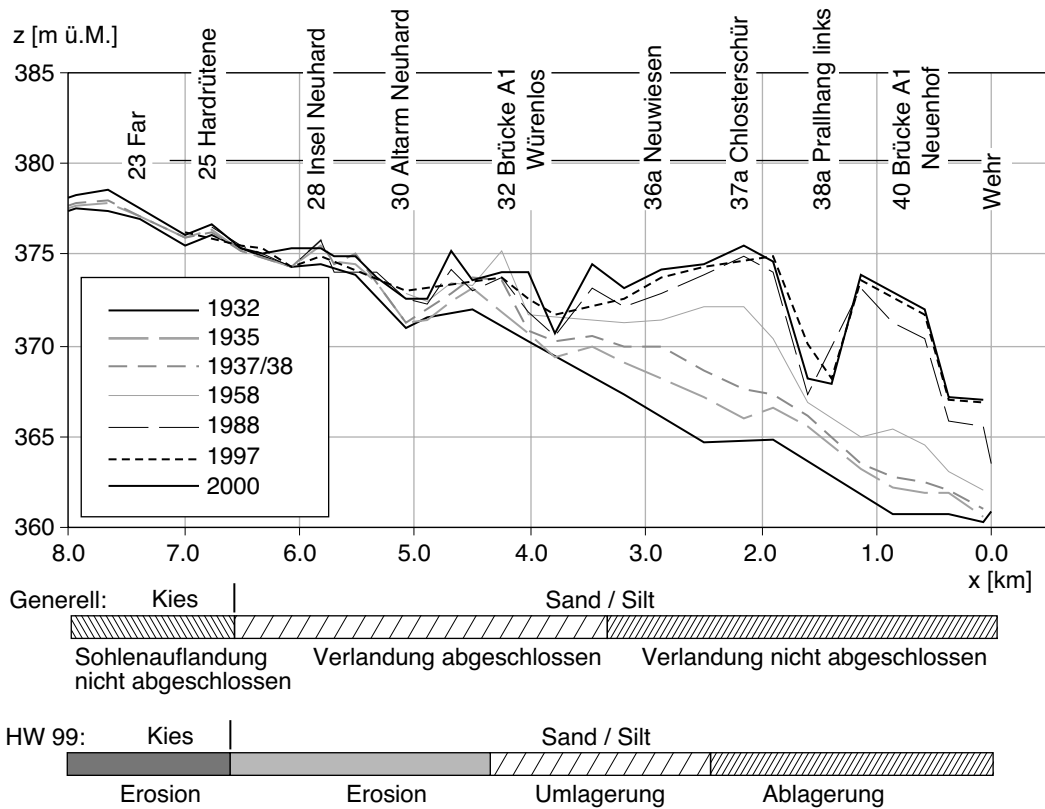


Abb. 2: Längenprofil des Talwegs der Limmat zwischen Dietikon und Wettingen zwischen 1932 und 2000. Gliederung des Staubereiches in drei Zonen mit unterschiedlichen Verlandungsgraden. Bei großen Hochwassern kommt es in der Zone mit abgeschlossener Verlandung zur Erosion und Umlagerung von Feinsedimenten.

Der aktuelle Verlandungsgrad ergibt dann aus dem Quotienten zwischen aktueller Ablagerungsmächtigkeit und Mächtigkeit der Ablagerung im Endzustand. Daraus lässt sich ableiten, dass der Verlandungsgrad bei km 2.0 ca 80-90 % und unmittelbar vor dem Wehr bei 60-70 % liegt. Ist der Stauraum vollständig verlandet, wird sich die Morphologie des Flusses gegenüber heute verändern. Im unteren Staubereich werden die Fließgeschwindigkeiten bei Hochwasser zunehmen. Die schon heute starke Gliederung der Querschnitte wird akzentuiert. Wo der Querschnitt aber nicht durch eine scharfe Krümmung fixiert ist, werden Gerinneverlagerungen innerhalb der Feinsedimentablagerungen möglich sein. In Zusammenhang der eingangs erwähnten Risiken sind die potenziellen Erosionsprozesse von großer Bedeutung.

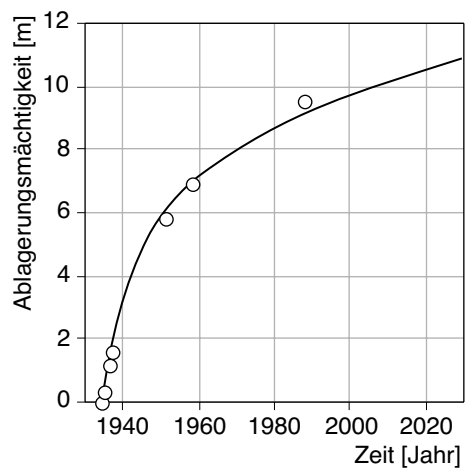


Abb. 3: Entwicklung der Ablagerungsmächtigkeit seit 1932 im Profil 37a, 80 m vom linken Ufer entfernt, mit logarithmischer Regressionskurve.

Für die Untersuchung der Erosionsprozesse war ursprünglich eine 2-dimensionale Simulation der Strömungsverhältnisse im Stauraum auf der Grundlage der bathymetrischen Vermessung 2000 vorgesehen. Damit hätten in einem ersten Schritt Zonen hoher Fließgeschwindigkeit und hoher Schleppspannung identifiziert und in einem zweiten Schritt Erosions- und Verlandungsprozesse selber simuliert werden können. Das verwendete Modell mit einem strukturierten Gitter hat sich aber für den vorliegenden Fall als nicht geeignet erwiesen. Die größten Fließgeschwindigkeiten und Schleppspannungen wurden nicht wie erwartet in den tiefen Rinnen und an den Kurvenaußenseiten berechnet, sondern an den Kurveninnenseiten und in Zonen, in welchen in der Vergangenheit stets Auflandungen beobachtet worden sind (Abb. 4). Ein möglicher Grund für die Abweichung zwischen Modell und Beobachtung in der Natur ist der, dass bei den großen Abflusstiefen im Stauraum die Reibung an den unterseeischen Böschungen eine wesentliche Rolle spielt. Wegen der rechteckigen Zellenform im strukturierten Gitter hat das Gerinne dort eine sägezahnförmige Berandung wo es nicht parallel zum Gitter verläuft. Damit wird in den tiefen Rinnen die Rauheit stark überschätzt und eine zu tiefe Fließgeschwindigkeit errechnet (Ruoss, 2001). Der Abfluss wird dann in die seichten Zonen der Kurveninnenseite gedrängt, wo die Wandreibung wegen der geringen Fließtiefe von untergeordneter Bedeutung ist.

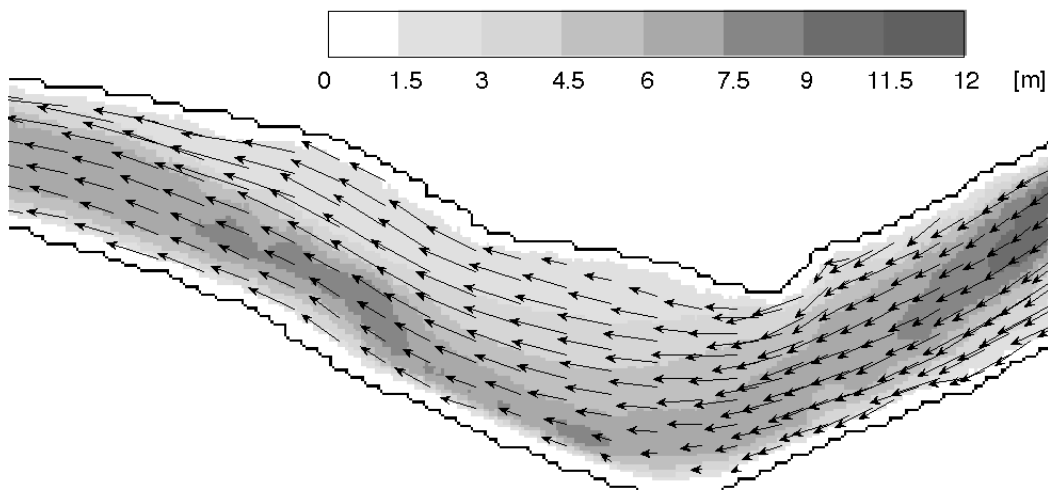


Abb. 4: Modellierte Fließgeschwindigkeiten in einer starken Krümmung. Die höchsten Fließgeschwindigkeiten werden nicht wie erwartet in der Außenkurve erreicht.

Die Erosionsprozesse wurde schließlich mit einer detaillierten Analyse der verschiedenen Querprofilaufnahmen untersucht. Insbesondere die Aufnahmen von 1997 und 2000, welche die Veränderungen während des Hochwassers von 1999 dokumentieren, erlauben es, Erosionsprozesse zu identifizieren (Abb. 5 und Abb. 6):

- Seiten- und Tiefenerosion bei Gerinneverlagerung in Strecken mit abgeschlossener Verlandung.
- Tiefenerosion von Feinsedimenten durch Verlagerung der Stauwurzel flussabwärts bei hohen Abflüssen.
- Erosion von Geschiebeablagerungen bei der Geschiebefront bei großen Hochwasserabflüssen und gleichzeitig geringem Geschiebeeintrag aus dem Oberlauf.
- Seitenerosion durch das Pendeln der Hauptströmung im gestreckten Flussabschnitt zwischen den Profilen 36 und 38.

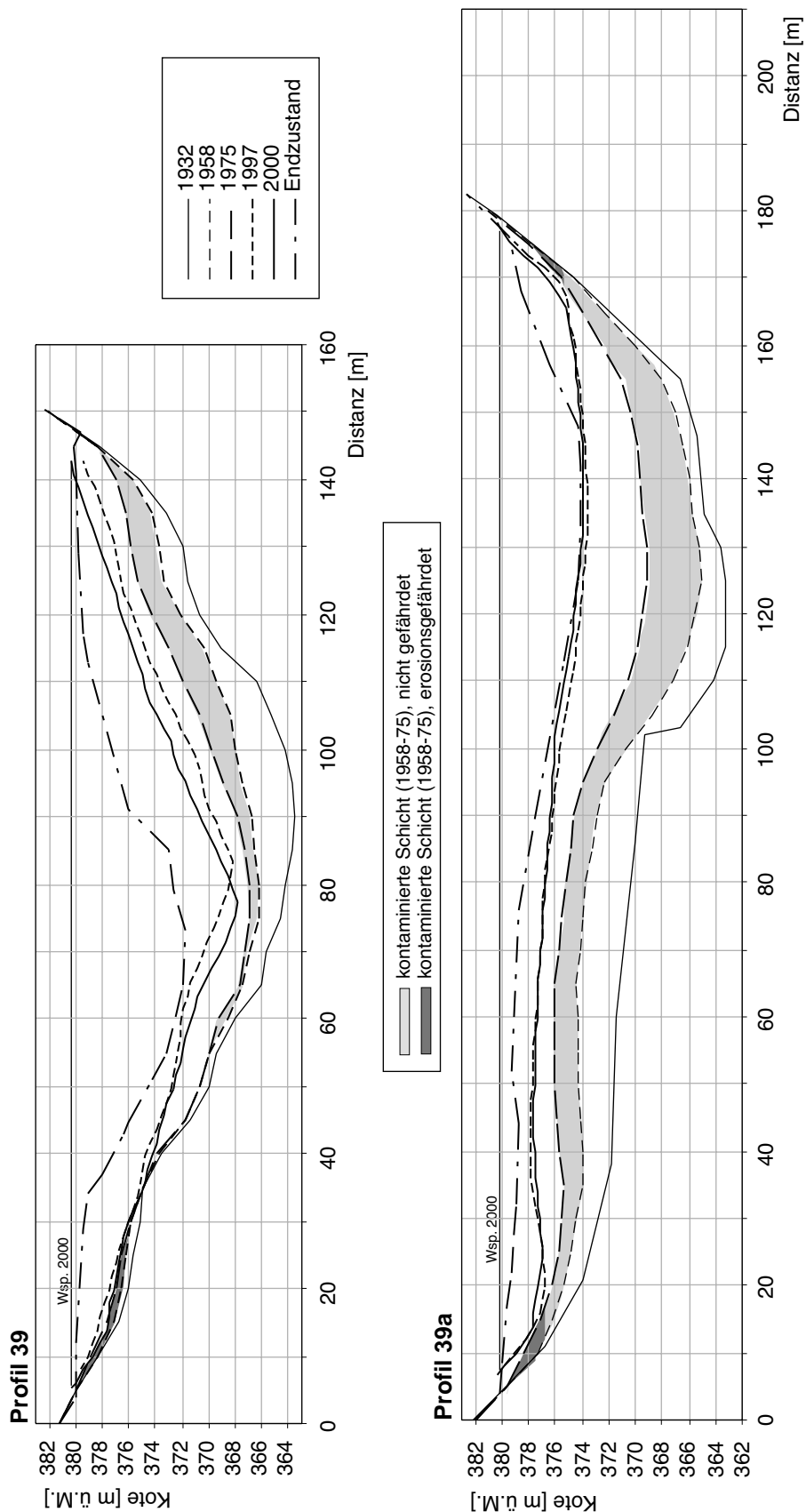


Abb. 5: Entwicklung der Sohle von 1932 bis 2000 und prognostizierter Endzustand in den Profilen 39 und 39a.

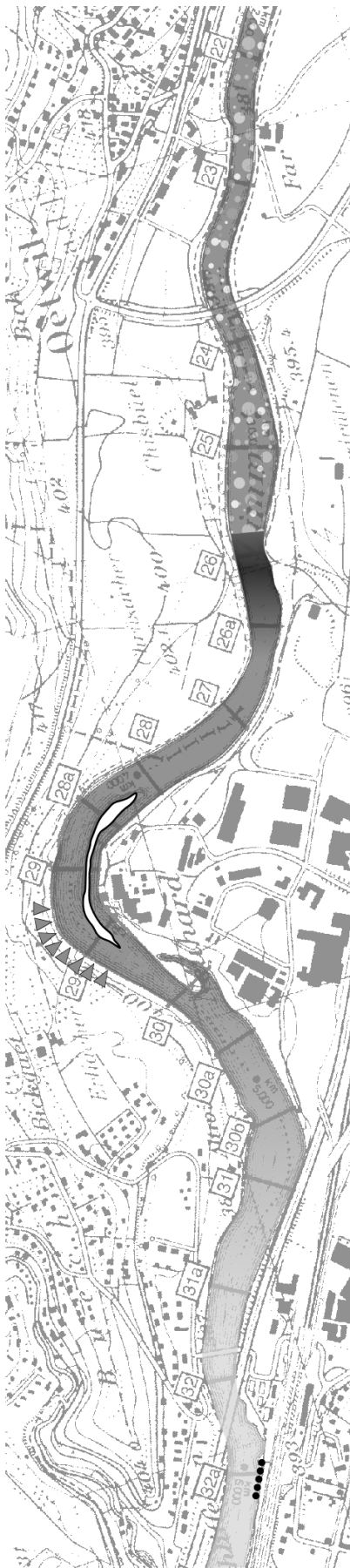
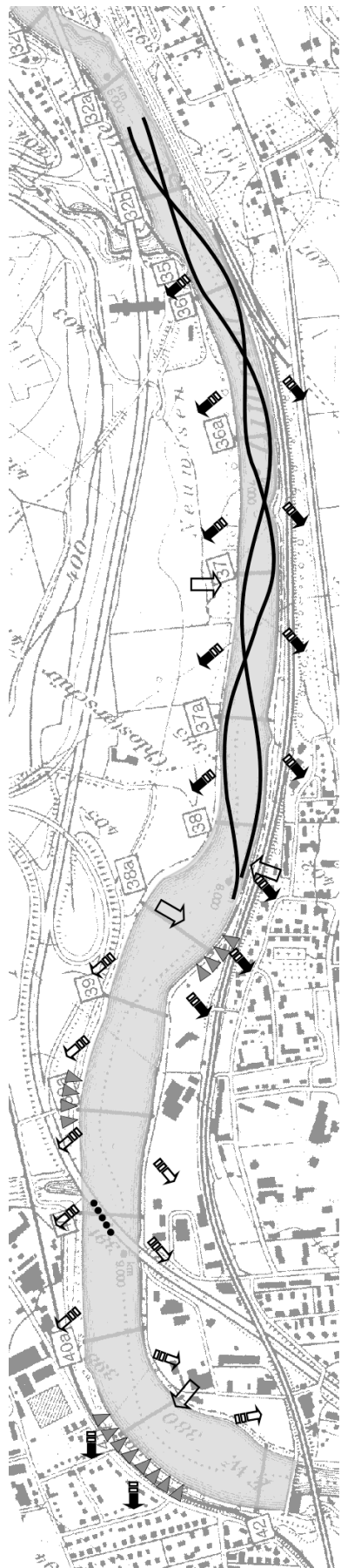


Abb. 6: Zukünftig zu erwartende Auflundungs- und Erosionsprozesse im Stauraum Mettingen. Bei einem außerordentlich großen Hochwasser wird sich die Grenze zwischen Erosions- und Auflundungszone flussabwärts verschieben. Fließrichtung von unten rechts nach oben links.

- | | | | | | |
|--|---|--|------------------------------------|--|--|
| | Veränderung der Durchlässigkeit mittelfristig möglich | | Erosion Prallufer | | Auflundung vorherrschend |
| | Veränderung der Durchlässigkeit langfristig möglich | | Erosion durch künstliche Einbauten | | Verlandung abgeschlossen, Erosion durch Gerinneverlagerung |
| | | | Subaquatische Rutsche | | Erosion durch Verlagerung der Stauwurzel |
| | | | Pendelnde Hauptströmung | | Erosion von Geschiebe-ablagerungen |

- Seitenerosion am Prallufer von ausgeprägten Flusskrümmungen.
- Erosionen am Böschungsfuß können subaquatische Rutsche auslösen, sodass auch Ablagerungen mobilisiert werden, welche keiner direkten Strömungsbeanspruchung ausgesetzt sind. Rutsche können sowohl im Bereich steiler Ufer als auch an steilen Böschungen eines gegliederten Querschnittes ausgelöst werden.
- Resuspension von Feinsedimenten durch Wirbelbildung bei der Geschiebefront.
- Kolkbildung oder Seitenerosion durch künstliche Einbauten (Dammschüttungen, Brückenpfeiler, Bühnen, etc.).

Kontaminierte Sedimente und das Risiko einer Mobilisierung von Schadstoffen

Mit den Sedimenten wurden bis in die 70er des 20. Jahrhunderts auch Schadstoffe aus den Abwässern, namentlich Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe, abgelagert. Aus der Analyse von Sedimentkernen wurde ein Modell der räumlichen Verteilung und damit der Geschichte der Sedimentqualität im Stauraum erstellt (ewz, 1998b). In diesem Modell werden folgende Schichten unterschieden (Abb. 5):

- 1932-1958: schwache Verschmutzung
- 1958-1975: stark kontaminierte Schicht
- 1975-heute: schwache Verschmutzung

Als Untergrenze der stark kontaminierten Schicht wurde etwas willkürlich die bathymetrische Aufnahme von 1958 gewählt. Die Schichtgrenze von 1975 wurde aus den Messungen von 1958 und 1988 interpoliert und aufgrund von geochemischen Analysen in Sedimentkernen kalibriert.

Das momentane Risiko der Remobilisierung und Verfrachtung von Schadstoffen durch Hochwasser wird als gering beurteilt. Die potenziell erodierbaren kontaminierten Schichten haben ein geringes Volumen im Vergleich zum gesamten Verlandungskörper (Tabelle 1), weil

- an Geschiebeablagerungen wenig Schadstoffe gebunden sind,
- im oberen Staubereich, wo Erosionsprozesse häufiger auftreten, die kontaminierten Schichten wenig mächtig oder bereits erodiert sind,
- im unteren Staubereich Auflandungsprozesse vorherrschen und die mächtigen kontaminierten Schichten durch jüngere Sedimente genügend überdeckt sind. Sie werden auch dann nicht freigelegt, wenn die Verlandung abgeschlossen ist und Umlagerungsprozesse möglich sind.

In Zukunft wird man allerdings auf die kontaminierten Ablagerungen an den Böschungen im unteren Staubereich achten müssen. Ändert sich die Flussmorphologie mit fortschreitender Verlandung, können kontaminierte Sedimente durch Gerinneverlagerung remobilisiert werden. In diesem Fall gilt es zu beurteilen, ob die Verdünnung der Schadstoffe in der fließenden Welle ausreichen wird, um Beeinträchtigungen des Ökosystem ausschließen zu können. Untersuchungen in Zusammenhang mit dem Hochwasserereignis von 1999 weisen in diese Richtung (creato, 1999).

	Total Sedimente	kontaminiert, nicht ero- sionsgefähr- det	kontaminiert, erosions- gefährdet	kontaminiert, erodiert
Zone mit Geschiebeablagerung		600	600	1'600
Zone mit abgeschlossener Verlandung		24'300	9'300	9'700
Zone mit fortschreitender Verlandung		463'000	22'100	3'000
Summe	ca. 2'500'000	487'900	32'000	14'300

Tabelle 1: Gesamtvolumen und Volumen der kontaminierten Sedimente im Stauraum Wettingen. Angaben in [m³].

Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser

Infiltriert Limmatwasser ins Grundwasser, vermindert sich die Grundwasserqualität, vor allem wegen der erhöhten Sauerstoffzehrung und der folgenden Reduktionsprozesse. Kurz nach dem Aufstau der Limmat in den 1930er Jahren war die Wasserqualität in den Trinkwasserleitungen der Gemeinde Wettingen stark beeinträchtigt. Dank technischen Maßnahmen und mit der zunehmenden Kolmatierung der Limmatsohle verbesserte sich die Situation zusehends und hat sich in der Zwischenzeit wieder eingependelt.

Die mächtigen Feinsedimentablagerungen auf der Sohle haben eine geringe Durchlässigkeit. Man kann davon ausgehen, dass diese auch dann nicht zunimmt, wenn Teile der Sedimentschicht erodiert werden. Anders verhält es sich an den Böschungen. Namentlich in ausgeprägten Krümmungen und im gestreckten Flussabschnitt mit pendelnder Hauptströmung ist die Sedimentschicht in den Außenkurven dünn und kann durch Seitenerosion noch an Mächtigkeit verlieren. In diesem Fall würde vermehrt Limmatwasser ins Grundwasser infiltrieren. So wurden zwischen den Profilen 36 und 38 (Abb. 4) auf der rechten Seite der Limmat bereits erhöhte Infiltrationsraten festgestellt. Eine Zunahme der Infiltration muss auch in Zukunft in Betracht gezogen werden, wenn sich mit fortschreitender Verlandung im unteren Teil des Stauraumes das Gerinne verlagern sollte.

Die Überwachung des Stauraumes

Um das Grundwasser im Wirkungsbereich der Stauhaltung dauerhaft als Trinkwasservorkommen zu sichern wurde ein Überwachungsprogramm für den Stauraum Wettingen aufgestellt. Im Rahmen des Programmes sollen

- Veränderungen der Topographie des Stauraumes dokumentiert werden,
- Erosionsprozesse, durch welche Schadstoffe remobilisiert werden könnten erkannt und dokumentiert werden,
- Schadstoffe in der Nahrungskette verfolgt werden,
- Verschmutzungen im Grundwasser erkannt und
- die Infiltration und die Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasserleiter in Abhängigkeit von Veränderungen im Stauraum aufgezeigt werden.

Das Programm ist vorerst auf eine Dauer von 10 Jahren ausgerichtet. Es beinhaltet folgende Programmpunkte:

- Periodische bathymetrische Vermessung des Stauraumes und Vermessung von ausgewählten Profilen nach größeren Hochwasserereignissen.
- Flussmorphologische Analyse der Sohlenveränderungen zur Bestimmung von Erosions- und Auflandungszonen und zur Bestimmung der Veränderung des Erosionspotenzials von kontaminierten Sedimenten.
- Kontrolle der Qualität der Sedimente in Bezug auf Granulometrie, Schwermetallgehalt und Gehalt an Organika.
- Überprüfung der Aufnahme von Schadstoffen durch Organismen, insbesondere durch Schilf, welches am Anfang der Nahrungskette im Ökosystem Fließgewässer steht.
- Überwachung der Grundwasserqualität mit einer vierteljährliche Analyse von physikalisch-chemischen Parametern an 26 Standorten.
- Sicherung der physikalisch-chemischen Parameter des Oberflächenwassers welche durch Dritte erhoben werden.

Das Programm ist im Januar 2002 angelaufen. Die ersten 2 Jahren werden als Startphase betrachtet, in welcher die Sedimente, das Grundwassers und die Schilfpflanzen besonders intensiv beprobt werden. Im ersten Jahr wird auch der Stauraum neu vermessen. Je nach Ergebnis der Startphase wird das Untersuchungsprogramm für die folgenden Jahre angepasst.

Adressat für die Ergebnisse der Stauraumüberwachung ist eine Arbeitsgruppe Grundwasser, in welcher der Projektverfasser, Fachstellen der Kantone und Mitarbeiter der öffentlichen Wasserversorgungen vertreten sind.

Schlussfolgerung

Im Stauraum des Limmatwerks Wettingen schlummern schwermetallhaltige Sedimente. Besteht die Gefahr, dass diese Schadstoffe wieder mobilisiert werden und in die Nahrungskette gelangen? Besteht das Risiko, dass wegen Erosionsprozessen die Infiltration von Limmatwasser zunimmt und die Qualität des Grundwasser dadurch beeinträchtigt wird?

Das Risiko besteht. Ob es in Zukunft eher zu- oder abnimmt wird die längerfristige Beobachtung zeigen. Die wissenschaftlichen Grundlagen für die Überwachung des Stauraumes sind erarbeitet. Sie bieten Gewähr, dass Veränderungen in der Morphologie oder Veränderungen in der Grundwasserqualität korrekt interpretiert werden können und dass bei allfälligen Störungen adäquate Maßnahmen ergriffen werden können.

Dank

Die beschriebenen Arbeiten wurden im Auftrag des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (ewz) durchgeführt. Folgende Firmen und Institutionen waren an den Untersuchungen beteiligt: creato – Netzwerk für kreative Umweltplanung, Ennetbaden (Projektleitung); Institut F.A. Forel, Université de Genève (Bathymetrie, Sedimentqualität); Schälchli, Abegg + Hunzinger, Zürich und Bern (Verlandung, Flussmorphologie); Dr. Heinrich Jäckli AG, Baden (Grundwasserqualität); Limnex AG, Zürich (Schadstoffe in Pflanzen).

Referenzen

creato (1999): Limmatwerk Wettingen, Erneuerung der Anlagen und der Konzession. Limmathochwasser Frühjahr 1999 – Qualität der verfrachteten Sedimente im Stauraum Wettingen. *Institut F.A. Forel, Université de Genève*, 7. Dezember 1999.

ewz (2001): Erneuerung Limmatwerk Wettingen. Grundlagen Überwachung Stauraum Limmatwerk Wettingen. Umweltverträglichkeitsbericht 2. Stufe, Fachbericht. *creato - Netzwerk für kreative Umweltplanung; Institut F.A. Forel; Schälchli, Abegg + Hunzinger; Dr. Heinrich Jäckli AG; Linnex AG*, Baden, 2001.

ewz (1998a): Erneuerung Limmatwerk Wettingen. Umweltverträglichkeitsbericht 1. Stufe. Fachbericht Nr. 2: Feststoffhaushalt. *Schälchli & Abegg*, September 1998.

ewz (1998b): Erneuerung Limmatwerk Wettingen. Umweltverträglichkeitsbericht 1. Stufe. Fachbericht Nr. 3 Sedimentuntersuchungen im Stauraum Wettingen. *Institut F.A. Forel, Université de Genève*, September 1998.

Ruoss P. (2001): Grenzen von 2D-Modellen. Vergleich hydraulischer Modellversuche mit 2D-Computersimulation am Beispiel einer Kurvenströmung bei eingestauten Verhältnissen und fester Sohle. *Diplomarbeit an der Professur für Wasserbau der ETH Zürich*, 37 S.

Stöckli P. (2002): Erneuerung Limmatwerk Wettingen. *Intern. Symposium Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau*, Zürich, Oktober 2002.

Anschrift des Verfassers

Lukas Hunzinger, Dr. sc. techn., Schälchli, Abegg + Hunzinger, dipl. Ing. ETH/SIA, Fluss- und Wasserbau, Schwarztorstr. 7, CH-3007 Bern. Tel: +41-31-376 11 05, Fax: +41-31-376 11 06, email: sah.be@flussbau.ch