

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 84 (1992)
Heft: 1-2

Artikel: Schwallversuche in der Sihl
Autor: Vetterli, Willy
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940536>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Schwallversuche in der Sihl

als Grundlage für die Konzessionserneuerung
beim Etzelwerk

Willy Vetterli

1. Einleitung

Die Konzession für das Etzelwerk wurde 1919/29 von den Kantonen Zürich, Schwyz und Zug an die Schweizerischen Bundesbahnen verliehen. Das Werk wurde in den Jahren 1932–1937 durch die Etzelwerk AG gebaut. Die Anlage besteht im wesentlichen aus dem im Hochtale der Sihl nordöstlich von Einsiedeln geschaffenen Sihlsee, dem Druckstollen unter dem Etzel und der Druckleitung zur Zentrale bei Altendorf am oberen Zürichsee. Mit der Anlage wird somit das Bruttogefälle zwischen dem Stausee des Sihlsees und der Einmündung der Sihl in die Limmat, dem Ausfluss des Zürichsees, beim Platzspitz in Zürich genutzt (Bild 1). Der Anteil der Kantone Zürich, Schwyz und Zug an der Wasserkraft beträgt 47,9%, 37,1% und 15,0%. Die Ausleitungsstrecke der Sihl ist rund 50 km lang. Dem Restwasserproblem wurde in der Konzession wie folgt Rechnung getragen:

«Die Wassernutzung der Sihl darf keine vollständige sein. Die Sihl ist aus dem Stausee so zu dotieren, dass ihre Wassermenge beim Eintritt in den Kanton Zürich oberhalb Hüttten nie unter $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ zurückgeht. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Abflussverhältnisse der Seitenbäche, die sich zwischen dem Stausee und der Kantongrenze in die Sihl ergießen, nicht in nachteiliger Weise verändert werden.»

Im weiteren sicherten die Schweizerischen Bundesbahnen dem Kanton Zürich ausserhalb der Konzession das Recht zu, aus gesundheitlichen und flusspolizeilichen Gründen zeitweise eine Spülung des Sihlbetts durch eine Erhöhung der Dotation zu verlangen.

Seit Bestehen des Etzelwerkes wurden immer wieder Klagen über die Folgen des geschmälerten Abflusses der Sihl, vor allem über die Verschlammung und Veralgung, laut und führten zu parlamentarischen Vorstossen. Obwohl sich die Verhältnisse seit dem Bau von Kläranlagen im Einzugsgebiet der Sihl verbessert haben, wird die Restwassersituation nach wie vor als unbefriedigend empfunden. Mehrere Fischsterben in verschiedenen Sommern lassen zudem vermuten, dass deren Ursache in zu hohen Wassertemperaturen und/oder schädlichen Ammoniakkonzentrationen infolge des verminderten Sihlabflusses zu suchen sind, da keine eigentlichen Gewässerverunreinigungen festgestellt wurden. Im Rahmen der Verhandlungen über die im Jahr 1987 fällig gewordene Erneuerung der Etzelwerk-Konzession, verlangte der Kanton Zürich als Mitkonzessionär eine Verbesserung der unbefriedigenden Restwassersituation in der Sihl während des Sommers.

Bild 1. Übersichtsskizze mit dem untersuchten Sihlabschnitt, den Messstellen und dem Zürichsee.



2. Dotierversuch Juni 1989

Mittels eines Dotierversuches während einer Schönwetterperiode im Juni 1989 wurden an sechs Tagen die kurzfristigen Auswirkungen von verschiedenen Restwassermengen auf die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Gewässers sowie auf dessen Erscheinungsbild im Abschnitt Sihlbrugg Dorf bis Adliswil abgeklärt. Die untersuchten Restwassermengen lagen zwischen $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ und $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ und wurden tageweise festgelegt. Während der Versuchperiode trat ein natürliches Hochwasser mit einer Abflussspitze von $15 \text{ m}^3/\text{s}$ auf, so dass der Versuch während dreier Tage unterbrochen werden musste. Der Versuch zeigte zusammengefasst folgende Ergebnisse:

1. Die Messungen der mittleren Fliessgeschwindigkeit bei $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ haben eindeutig bestätigt, dass diese Abflussmenge zu klein ist, um Ablagerungen von Feinmaterial auf die Flussohle zu verhindern. Die Steigerung auf $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ brachte in dieser Hinsicht jedoch keine markante Verbesserung.
2. Die Wassertemperatur der Sihl wurde dominant durch das Wetter bestimmt. Im Bereich der untersuchten Restwassermengen von $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ konnte kein signifikanter Einfluss der Dotierwassermenge auf die Wassertemperatur festgestellt werden.
3. Im Bereich der untersuchten Dotierung konnte kein signifikanter Zusammenhang von Restwassermenge und pH-Wert bzw. Sauerstoffgehalt erkannt werden. Das gleiche gilt bezüglich der Stickstoffparameter Ammonium, Nitrat und Nitrit sowie der Parameter gelöster und partikulärer organischer Kohlenstoff (DOC/POC), biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5), Phosphat und Karbonat. Die in der eidg. Verordnung über Abwassereinleitungen festgelegten Qualitätsziele für Fliessgewässer wurden bei den erhobenen Proben bezüglich der untersuchten chemischen Parameter immer eingehalten. Bezuglich Schaumbildung und lästiger Algenwucherungen im Fluss war das Qualitätsziel während des Versuchs jedoch nicht erfüllt.
4. Während des Dotierversuchs konnten nur bescheidene Abnahmen beim Algenaufwuchs festgestellt werden. Die aufschwimmenden Algenwatten wurden aber weitgehend abgeschwemmt. Die Abnahmen beim Algenaufwuchs wie die Abschwemmung der Algenwatten müssen jedoch mit der mechanischen Wirkung des während des Versuches eingetretenen kleineren Hochwassers ($Q_{\max} = \text{rund } 15 \text{ m}^3/\text{s}$) erklärt werden.
5. Der auf Kantonsebene Zürich mittels Foto- und Videoaufnahmen festgehaltene visuelle Eindruck der unterschiedlichen Dotierungen war so, dass bei Aufnahmen in der Totale keine markanten Unterschiede bestehen. Detailaufnahmen, vor allem in den Uferpartien, zeigen jedoch Unterschiede, z.B. bei zunehmender Restwassermenge Einsetzen einer Strömung oder vermehrte Überflutung von Steinen und Kiesbänken.

Die Veränderungen der untersuchten Parameter infolge der vergrösserten Restwassermenge sind somit enttäuscherweise sehr bescheiden ausgefallen. Es könnte sein, dass sich bei längerer Dauer des Versuchs markantere Verbesserungen infolge erhöhter Restwassermenge insbesondere bezüglich verminderter Ablagerung von Feinsedimenten gezeigt hätten. Die seit dem Sommer 1988 praktizierte stufenweise Vergrösserung der Mindestrestwassermenge von $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (gemäss Übergangsregelung des Bundesgerichts) wurde in jedem Fall von den Fischern positiv vermerkt.

3. Schwallversuch Juni/Juli 1990

3.1 Versuchsanordnung und -durchführung

Aus dem Dotierversuch wurde der Schluss gezogen, dass sich eine nachhaltigere Verbesserung der Lebensbedingungen für die Wasserorganismen ergäbe, wenn mit markanteren Restwasser-Vergrösserungen wieder vermehrte Umlagerungen der Flussohle und damit «Waschungen» des Sediments bewirkt werden könnten. Wasserbauliche Abklärungen hatten aber ergeben, dass eine echte Umlagerung der Sihlsohle (vollständiger Geschiebetrieb) erst bei einem Hochwasserabfluss von 200 bis 300 m³/s stattfindet, einem Abfluss, der seit der Erstellung des Sihlsees statistisch nur noch etwa alle 40 Jahre einmal auftritt, während es vorher etwa alle sechs Jahre einmal vorkam (Quelle: Basler & Hofmann. Zürcher S-Bahn. Das Hochwasserrisiko während der Sihlquerung. Januar 1984). Es wurde aber vermutet, dass bereits bei einsetzendem Geschiebetrieb die gewünschte Reinigung des Flussbetts zumindest teilweise eintreten wird. Der Geschiebetrieb beginnt bei einem Abfluss von rund 50 m³/s, was heute statistisch einmal bis mehrmals im Jahr vorkommt. Solche Abflüsse liegen einiges über den untersuchten Dotiermengen. Der Dotierversuch 1989 hat zufälligerweise gezeigt, dass Abflüsse von 10 bis 15 m³/s ein Abschwemmen von aufschwimmenden Algenwatten und allenfalls eine bescheidene Verminderung des Algenaufwuchses bewirken. Diese Wassermenge kann mit periodischen Spülstößen (Schwällen) von einigen Stunden Dauer erzeugt werden, die insgesamt weniger Wasser aus dem Sihlsee benötigen als eine dauernde massive Vergrösserung der Mindestrestwassermenge im Sommer mit ähnlicher Wirkung.

Es wurde deshalb mit der Etselwerk AG vereinbart, im Juni/Juli 1990 Schwallversuche durchzuführen. Damit sollte abgeklärt werden, ob durch die Schwällen in Ergänzung zu einer generellen, gegenüber der Übergangsregelung des Bundesgerichts jedoch reduzierten Dotationserhöhung im Sommer folgende Ziele erreicht werden:

1. Verringerung des Algenaufwuchses
2. Zumindest teilweise Freispülung des Lückensystems im Flussbett

Bei Erreichen des ersten Ziels würde nebst einer Verbesserung des visuellen Eindrucks eine positive Beeinflussung des Wasserchemismus erreicht, indem der durch die Photosynthese der Algen bewirkte starke pH-Wertanstieg verhindert würde. Als Folge davon würde sich das chemische Gleichgewicht Ammonium/Ammoniak zugunsten des Ammoniums verschieben. Durch die geringere Ammoniakkonzentration im Gewässer würde sich wiederum die Ge-

fahr von Fischsterben bei hohen Wassertemperaturen verkleinern.

Durch Erreichen des zweiten Ziels würde der Lebensraum der algenfressenden wirbellosen Tiere (Makroinvertebraten) vergrössert und verbessert. Durch vermehrten Algenfrass wird der vorstehend beschriebene positive Einfluss auf den Wasserchemismus verstärkt. Zudem würden dadurch auch bessere Lebensbedingungen für die Fische geschaffen.

Zur Kompensation der durch die Schwällen benötigten Wassermengen wurde im Sommer 1990 die einzuhaltende Mindestrestwassermenge lediglich auf 3,0 m³/s erhöht. Das Versuchsprogramm sah wie folgt aus:

In den Monaten Juni und Juli 1990 sollte in der Sihl mindestens alle 14 Tage ein Hochwasser mit einem minimalen Spitzenabfluss von 15 m³/s erreicht werden, indem notfalls ein künstliches Hochwasser mit einer Spitze von 15 m³/s durch vermehrte Wasserabgabe aus dem Sihlsee erzeugt wird. Die vermehrte Wasserfracht aus dem Sihlsee war wie folgt abgestuft abzugeben:

07.00–09.00 Uhr: 10 m³/s abzüglich Momentanabfluss um 07.00 Uhr bei der Kantonsgrenze SZ/ZH (Q_G)

09.00–13.00 Uhr: 15 m³/s abzüglich Q_G

13.00–19.00 Uhr: 10 m³/s abzüglich Q_G

Die erste Stufe war als Warnung für Erholungssuchende und Fischer im Flussbett gedacht, die letzte zum Nachspülen, d. h. zum Abtransport von freigespülten Sedimenten. Die natürlichen Abflussverhältnisse führten nach der vorstehenden Regel zur Anordnung von zwei Schwällen, nämlich am 28./29. Juni 1990 und am 25./26. Juli 1990. Zur Feststellung der Wirkung dieser künstlichen Hochwässer wurden an zwei Stellen in Sihlwald (Bild 1) von Mitte Mai bis Ende Juli 1990 biologische Untersuchungen durchgeführt (Untersuchungen des Algenaufwuchses und der Wasserwirbellosen). In dieser Zeit wurden 11 natürliche Hochwässer mit einem Abfluss grösser als 15 m³/s verzeichnet. Die biologischen Untersuchungen fanden, falls es der Wasserstand zuließ, vor und nach einem natürlichen oder künstlichen Hochwasser statt. Die eine Untersuchungsstelle befand sich in einem frei fliessenden Flussbereich, die andere etwa 300 m flussabwärts der ersten im Staubbereich eines Wehrs. Mit den biologischen Untersuchungen wurde die Firma AquaPlus, Wollerau, beauftragt.

Die beiden kantonalen Probenahmestationen in Hütten (1,5 km unterhalb der Kantonsgrenze) und Sihlhölzli-Zürich (bei der Messstation der Landeshydrologie) wurden an den Tagen mit künstlichen Hochwässern je während 24 Stunden auf 2-Stunden-Mischproben umgeschaltet. Die Analysen der Wasserproben erfolgten durch das Labor Roth AG, Zü-

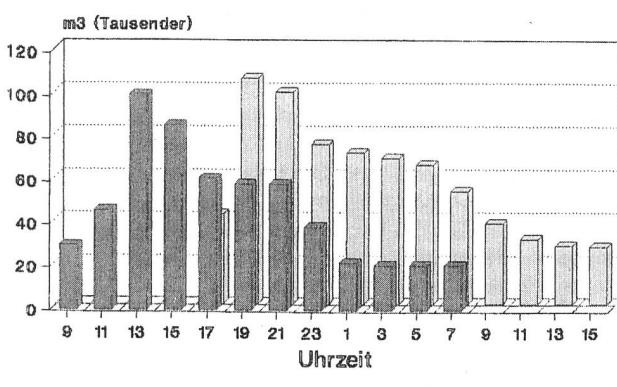


Bild 2. Schwallversuch an der Sihl vom 28. und 29. Juni 1990. Wassermenge in 1000 m³.

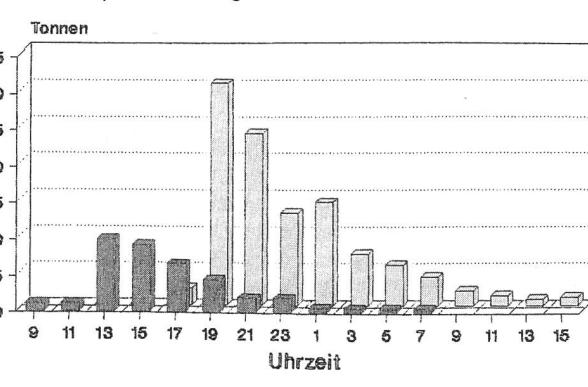


Bild 3. Schwallversuch an der Sihl vom 28. und 29. Juni 1990. Ungelöste Stoffe in t.

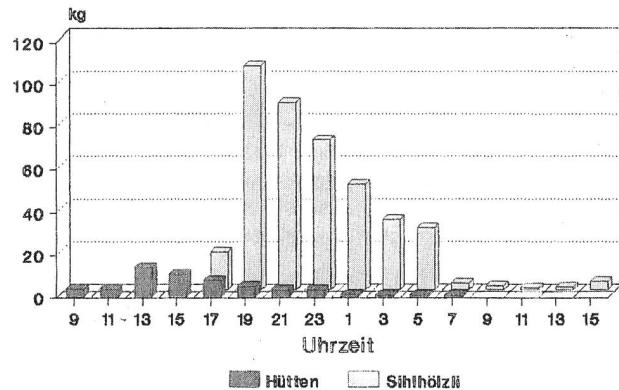


Bild 4. Schwallversuch an der Sihl vom 28. und 29. Juni 1990. Gesamtphosphor in kg.

rich, und dienten vor allem der Abklärung allfälliger chemischer Einflüsse der Schwälle auf den Unterlauf der Sihl und auf die Limmat. Ferner liessen sich damit in Verbindung mit den registrierten Wassermengen die Schwebestofffrachten bzw. die Frachten chemischer Parameter ermitteln.

3.2 Ergebnisse der biologischen Untersuchungen

Die Durchführung der biologischen Untersuchungen und deren Ergebnisse sind im Bericht von *Fredy Elber, Joachim Hürlimann und Klemens Niederberger* detailliert beschrieben. Zusammengefasst ergaben sich folgende Resultate: Am meisten Veränderungen hatten die grossen Hochwasser mit Abflussspitzen von mehr als $40 \text{ m}^3/\text{s}$ zur Folge, wobei das Hochwasser vom 25. Mai ($Q_{\max} = 69 \text{ m}^3/\text{s}$) nach der ersten Probenahme die stärkste Wirkung auf die Gewässersohle und ihre Bewohner zeigte und die gesamte nachfolgende Untersuchungsperiode beeinflusste. Die Veränderungen aufgrund späterer Hochwasser bewegten sich somit in einem engeren Rahmen und traten nicht mehr so offensichtlich zutage.

Ein Geschiebetrieb wurde lediglich von grossen Hochwassern ($Q_{\max} > 40 \text{ m}^3/\text{s}$) ausgelöst. Eine Veränderung in der sedimentierten Menge von feinen Partikeln wurde sowohl von kleineren Hochwassern als auch von grossen hervorgerufen: Eine Zunahme der Menge der sedimentierten Partikel verursachte nur kleinere Hochwasser (die beiden künstlichen sowie ein natürliches). Eine Abnahme bewirkten überwiegend nur grosse Hochwasser. Da die Fließgeschwindigkeit im Bereich Sihlwald im Vergleich zu weiter flussaufwärts liegenden Regionen mit grösserem Gefälle gering ist, konnten sich hier bei kleineren Hochwassern feine Partikel absetzen.

Vor dem Hochwasser vom 25. Mai war der ganze Flussgrund mit Algenzotten bedeckt. Nachher präsentierte er sich mit locker aufliegenden, blankgefegten Steinen. Bis Ende Juli setzte sich der Algenbewuchs lediglich aus Krustenalgen und Ansätzen von fädigen Algen zusammen und erreichte nicht mehr die Dichte zum Zeitpunkt der ersten Probenahme.

Bei den Wasserwirbellosen zeichnete sich durch das Wegspülen der sedimentierten Partikel eine Änderung in der Gesellschaftszusammensetzung ab. Der Lebensraum für die schlammbewohnenden Würmer (Wenigborster) wurde vermindert, die Gewässersohle gewann dafür an Attraktivität als Lebensraum für Insektenlarven.

Obwohl die Zweiflügler und Eintagsfliegen bei der Freiflussstelle wieder auf ihre Anfangshäufigkeit kamen, blieb die Gesamtindividuendichte und die Biomasse durch das Fehlen der Würmer kleiner als vor dem Hochwasser. Bei der Staubereichsstelle erhöhte sich zunehmend neben den erneut aufkommenden Würmern die Dichte der Eintagsflie-

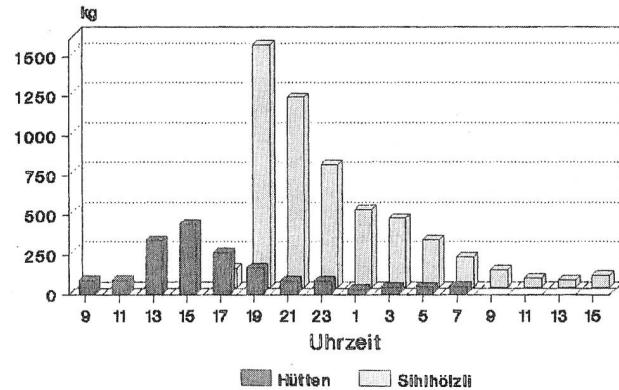


Bild 5. Schwallversuch an der Sihl vom 28. und 29. Juni 1990. Partikulärer organischer Kohlenstoff in kg.

gen und in verstärktem Mass jene der Zweiflügler, so dass sich sogar eine grössere Gesamtindividuendichte und ein Trend zu höheren Biomassen als vor dem Hochwasser vom 25. Mai ergaben.

Ein Vergleich mit der Bewuchsdichte-Schätzung im Rahmen des Dotierversuchs 1989, die zur selben Jahreszeit an praktisch denselben Probenahmestellen vorgenommen wurde, zeigt, dass der Algenaufwuchs im Frühsommer des Jahres 1989 deutlich dichter und flächendeckender als im Jahr 1990 war. Gut ausgebildete Algenzotten bedeckten die Flussohle fast durchgehend, während im Jahr 1990 dieser Zustand nur vor dem Hochwasser vom 25. Mai anzutreffen war und nachher der Algenwuchs grösstenteils aus Krustenalgen und Ansätzen von fädigen Algen bestand. Im Jahr 1989 betrug die Abflussspitze im Juni aber lediglich $21 \text{ m}^3/\text{s}$, was keinen Geschiebetrieb bei stark kolmatierter Flussohle auslösen kann. Damit wurde der Bewuchs auch nicht in einem ähnlichen Masse wie im Jahr 1990 reduziert. Dazu kommt, dass vorher während eines ungewöhnlich langen Zeitraums von rund sieben Monaten Dauer weder ein Abfluss grösser als $50 \text{ m}^3/\text{s}$ noch ein solcher von grösser als $30 \text{ m}^3/\text{s}$ auftrat.

3.3 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen

Die Analyse der untersuchten chemischen Parameter ergab: Generell sanken die Konzentrationen der gelösten Stoffe während der «Hauptwelle» ($Q = \text{etwa } 14 \text{ m}^3/\text{s}$). Die grössere Wassermenge hatte einen beschränkten Verdunstungseffekt. Die Konzentrationen stiegen nach dem Erreichen des «Normalpegels» wieder auf die ursprünglichen Werte. Die Konzentrationsschwankungen während der Schwälle waren so minim, dass keine direkten Einwirkungen auf die Biologie eingetreten sein können.

Die Konzentrationen der ungelösten Stoffe, d.h. gesamte ungelöste Stoffe (GUS), partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und auch Gesamt-Phosphor, stiegen während der «Hochwasserwelle» mehr oder weniger stark an. Vor allem im ersten Schwallversuch vom 28./29. Juni 1990 ist dieses Verhalten bei allen drei Parametern stark ausgeprägt.

Beim ersten Schwallversuch war auch die Materialabschwemmung aus dem Sihlbett gut zu erkennen. Die drei Messwerte GUS, POC und Gesamt-P waren in der «Hochwasserwelle» an der Messstelle Sihlhölzli jeweils klar höher als bei Hütten. Durch den Vergleich der Frachten dieser Parameter bei den beiden Messstellen, die aus den jeweiligen Abflüssen und Konzentrationen ermittelt wurden, lässt sich abschätzen, welche Mengen aus dem Sihlbett im Zürcher Kantonsgebiet abgeschwemmt wurden. Interessant sind dabei die Parameter GUS und POC beim ersten Schwallversuch vom 28./29. Juni 1990 (Bilder 2 bis 5).

In Hütten wurden in den 24 Stunden des Schwallversuches rund 38 Tonnen (Trockengewicht) ungelöste Stoffe verfrachtet, beim Sihlhölzli konnten dann aber innerhalb 24 Stunden rund 105 Tonnen ungelöstes Material gemessen werden. Aus dem Sihlbett wurden also mit diesem relativ bescheidenen Schwall doch etwa 70 Tonnen Material abgeschwemmt. Für eine grobe Abschätzung der flächenbezogenen Abschwemmung wurden die folgenden Annahmen getroffen: Die Länge des Sihlbetts zwischen Hütten und Sihlhölzli beträgt etwa 30 km und die durchschnittliche Breite rund 25 m. Somit ergibt sich eine Fläche von rund 750000 m². Unter der vereinfachenden Annahme, dass das gesamte ungelöste Material gleichmäßig aus dem gesamten Sihlbett abgeschwemmt wurde, trug dieser Schwall rund 100 g Trockengewicht ungelöste Stoffe pro m² Sihlbett ab. Aus der Frachtabilanz für den Parameter POC liess sich eine Abschwemmung in der gleichen Größenordnung bestimmen.

Der zweite Schwallversuch vom 25./26. Juli 1990 vermochte die Resultate leider nicht zu bestätigen; da die Probenahme bei der Messstelle Sihlhölzli zeitweise ausfiel, war die Interpretation der Resultate schwierig und waren Frachtberechnungen unmöglich.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Juni/Juli 1990 wurden in Zusammenarbeit mit der Etzelwerk AG Schwallversuche in der Sihl durchgeführt. Es sollte in dieser Zeit mindestens alle 14 Tage ein Hochwasser mit einem minimalen Spitzenabfluss von 15 m³/s erreicht werden, indem notfalls ein künstliches Hochwasser mit einer Spitze von 15 m³/s durch vermehrte Wasserabgabe (Schwall) aus dem Sihlsee erzeugt wurde. Dabei sollte abgeklärt werden, ob folgende Ziele erreicht werden:

1. Verringerung des Algenaufwuchses,
2. zumindest teilweise Freispülung des Lückensystems im Flussbett.

Die Erfolgskontrolle geschah mittels biologischer und chemischer Untersuchungen, wobei diese auch dazu dienten, negative Einflüsse der Schwälle abzuklären. Die Auswirkungen der Schwälle wurden mit denjenigen von natürlichen Hochwassern verglichen, indem biologische Vergleichsuntersuchungen ab Mitte Mai 1990 vor und nach Hochwassern durchgeführt wurden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die obgenannten Ziele zwar erreicht wurden, dass aber der Einfluss des natürlichen Hochwassers vom 25. Mai 1990 mit einer Abflussmenge von bis zu 69 m³/s dominant war. Der Entwicklungsverlauf von Flora und Fauna in der Sihl während der Untersuchungsperiode wurde dadurch mit nachhaltiger Wirkung geprägt. Die Wirkung der Schwälle darnach war im Vergleich dazu eher bescheiden. Hochwasser mit einer Abflussspitze von rund 70 m³/s sind seit der Erstellung des Sihlsees im für den Algenaufwuchs anscheinend wichtigen Monat Mai relativ selten. In den Jahren 1980 bis 1990 trat dies nur in zwei von elf Jahren je einmal ein. Aber auch im Juni und Juli kam dies in dieser Zeitperiode nur in sechs von elf Jahren mindestens je einmal vor. Das Jahr 1990 war in dieser Hinsicht eher eine Ausnahme, da sich drei solcher Hochwasser von Mai bis Juli ereigneten. Das Jahr 1989, in dem im Juni Dotierversuche in der Sihl durchgeführt wurden, unterschied sich bezüglich Hochwasserabflüsse im Frühsommer entscheidend vom Jahr 1990. Vor dem 2. Juli 1989 trat während eines ungewöhnlich langen Zeitraums von rund sieben Monaten Dauer kein Hochwasser mit einem Abfluss grösser als 30 m³/s ein. Es ist anzunehmen, dass

bei einer Durchführung der Schwallversuche im Jahr 1989 die Auswirkungen der Schwälle von 15 m³/s grösser gewesen wären als im Jahr 1990, weil der nachhaltige Spüleffekt eines vorangegangenen grösseren Hochwassers ausgeblichen wäre. In dieser Richtung gehen auch die Feststellungen im Rahmen der Dotierversuche 1989.

Daraus wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass grundsätzlich jedes Jahr im Mai mindestens ein Hochwasser mit einer Abflussspitze grösser als 50 m³/s auftreten sollte, was allenfalls auf künstliche Weise durch Abgabe von Wasser aus dem Sihlsee erreicht werden müsste, damit vor allem die erwünschte Verringerung des Algenaufwuchses erzielt wird. Da es unrealistisch und wirtschaftlich uninteressant ist, solche Abflussmengen künstlich zu erzeugen, wäre es sinnvoll, wenn mit einer Aufstockung von natürlichen Hochwässern das gewünschte Resultat erreicht werden könnte. Diese Aufstockung kann aber aus praktischen Gründen nicht grösser als rund 25 m³/s sein. Damit der erwünschte Schwall von mind. 50 m³/s erreicht würde, wäre somit ein natürliches Hochwasser von mind. 25 m³/s erforderlich. Solche Hochwasser, die in erster Linie aus dem Einzugsgebiet von Alp und Biber stammen, traten aber in den Jahren 1980/1990 im kritischen Monat Mai nur in acht von elf Jahren mindestens einmal ein. In Ausnahmefällen käme es also zu keinen Spülenschwälen im Monat Mai. Die Erfahrung aus dem Jahr 1989 zeigt aber die besondere Nützlichkeit auch kleinerer Schwälle in solchen Jahren. Daraus ergab sich folgender Vorschlag:

- Das erste natürliche Hochwasser > 25 m³/s in der ersten Maihälfte wird stufenweise bis um 25 m³/s aufgestockt.
- Tritt in der ersten Maihälfte kein natürliches Hochwasser > 25 m³/s auf, so wird das erste Hochwasser > 15 m³/s in der nachfolgenden Zeit stufenweise bis um 25 m³/s aufgestockt.

Bei Einhaltung dieser modifizierten «Schwallregel» würden zumindest teilweise die Frühlingshochwasserverhältnisse vor Erstellung des Sihlsees wiederhergestellt. Durch den Sihlsee werden nämlich in der Aufstauphase im Frühling (Stauzielverpflichtung und «Muggensteuer»!) rund die Hälfte der aus dem gesamten Sihleinzugsgebiet stammenden Hochwassermengen zurückgehalten.

Die festgestellten Konzentrationsschwankungen bei den untersuchten gelösten Stoffen waren während der Schwälle so minim, dass bei Anordnung solcher Schwälle keine direkten Einwirkungen auf die Biologie in Sihl und Limmat zu erwarten sind. Die beim Versuch vom 28./29. Juni 1990 abgeschwemmten 100 Tonnen Frischmasse Algen, Invertebraten wären beim nächsten grösseren natürlichen Hochwasser ebenfalls in die Limmat gelangt. Der Abfluss der Limmat ist aber selbst in Trockenzeiten 10- bis 20mal grösser als der der Sihl, so dass zumindest der Weitertransport des durch die Schwälle in der Sihl losgelösten Materials bis in die grossen Kraftwerkstauräume in der Limmat gewährleistet ist, wohin das Material sowieso früher oder später hingelangt und deponiert worden wäre.

Diese Schlussfolgerungen und Empfehlungen sind nun Grundlage der Verhandlungen der interessierten Behörden mit der Etzelwerk AG. Die Art und Weise und der Zeitpunkt künftiger Schwälle müssen noch eingehender abgeklärt werden. Vermutlich lassen sich die definitiven Regeln erst nach einem Proberegime und nach einer Reihe von Beobachtungsjahren festlegen.

Adresse des Verfassers: *W. Vetterli*, Leiter der Abteilung Wasser- und Energiewirtschaft beim Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, Walcheturm, CH-8090 Zürich.