Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 88 (1996)
Heft: 3-4

Artikel: Algenmonitoring
Autor: Elber, Fredy / Hürlimann, Joachim / Niederberger, Klemens
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940338

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: 12.02.2026

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

Algenmonitoring

als Grundlage für das Abflussmanagement in der Sihl

Fredy Elber, Joachim Hürlimann und Klemens Niederberger

Einleitung

Die Sihl, ein Voralpenfluss, weist seit der Schaffung des Sihlsees in den Jahren 1932 bis 1937 kein natürliches Abflussregime mehr auf. Fast die Hälfte des 336 km² grossen Einzugsgebietes der Sihl entwässert in den Sihlsee, von wo das Wasser über einen Druckstollen zur Kraftwerkszentrale am oberen Zürichsee geleitet wird (Bild 1). Die Sihl führt also vom Sihlsee bis zu ihrer Mündung in die Limmat bei Zürich Restwasser. Sie wird heute hauptsächlich durch die Alp und deren Hauptzufluss, die Biber, gespiesen. Der Sihlsee bewirkt gegenüber früher eine ansehnliche Reduktion der Sihlhochwasserspitzen. So hat sich die Abflussspitze des jährlichen Hochwassers seit der Inbetriebnahme des Sihlsees 1938 etwa halbiert (Basler und Hofmann 1984).

Sichtbare Auswirkungen der veränderten Hydrologie sind beispielsweise die Veralgung der Flusssohle, welche darüber hinaus durch die Einleitung gereinigten Abwassers aus diversen Kläranlagen gefördert wird, und die Verstopfung des Lückensystems der Gewässersohle (Kolmation) aufgrund der verstärkten Sedimentation von Feinmaterial. Zudem wurde vermutet, dass die Fischsterben in verschiedenen Sommern in Zusammenhang mit den Algenwucherungen stehen könnten. Möglicherweise verursachte intensive Photosyntheseaktivität einen starken pH-Anstieg, was allenfalls das pH-abhängige Gleichgewicht zwischen Ammonium und Ammoniak in Richtung des fischtoxischen Ammoniaks verschoben hat.

Die unbefriedigende Restwassersituation veranlasste das Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich zur Durchführung von Dotier- (1989) und Schwallversuchen (1990) mit begleitenden biologischen Untersuchungen (*Elber* 1989, *Vetterli* 1992, *Elber* et al. 1992), welche 1991 und 1992 mit der Beobachtung von natürlichen

Die Untersuchungen hatten zum Ziel, Kenntnis zu gewinnen über die Wirkung unterschiedlicher Abflüsse hinsichtlich der Reduktion des Algenbewuchses und der Spülung des Lückensystems der Gewässersohle. Damit sollten Grundlagen geschaffen werden, um eine bestimmte Jahres-Restwassermenge so einzusetzen, dass möglichst optimale Bedingungen für die Lebensgemeinschaften im Gewässer resultieren und Algenwucherungen verhindert werden.

Im folgenden werden die Untersuchungsergebnisse von 1990 bis 1992 zusammengefasst. Basierend auf den Untersuchungsergebnissen wird ein Überwachungs- und Handlungskonzept zur Vermeidung von Algenwucherungen in der Sihl vorgestellt, welches Abflussdaten und ein Algenmonitoring einbezieht.

Material und Methoden

Untersuchungsstellen: Die Sihl wurde an zwei Stellen bei Sihlwald untersucht (Bild 1). Bei einer Stelle handelte es sich um eine typische Fliessstrecke (Stelle OBEN), die andere wies geringere Fliessgeschwindigkeiten auf, da sie sich hinter einer Sohlschwelle befand (Stelle UNTEN). Die beiden Stellen unterschieden sich hinsichtlich der hydraulischen Kräfte (Sohlenschubspannungen) deutlich (*Elber* et al. 1996).

Schätzung der Algenbewuchsdichte: Anhand der sechsstufigen Bildskala nach *Thomas* und *Schanz* (1976, Bild 2). Die Schätzung wurde für den linken und rechten Uferbereich sowie für die Flussmitte durchgeführt. Neben der Bewuchsdichteschätzung nach *Thomas* und *Schanz* (1976) wurden weitere Parameter zur Beurteilung der Algenbewuchsdichte wie die Deckung der Gewässersohle mit Fadenalgen und das aschefreie Trockengewicht bestimmt. Da diese Parameter auf Hochwassereinflüsse in der Regel gleich wie die geschätzten Bewuchsdichten reagierten (AquaPlus 1993a, b), finden sie in der vorliegenden Auswertung keine weitere Beachtung.

Auswertung: Es wurden lediglich jene Daten berücksichtigt, welche kürzere Zeit vor bzw. nach einem Hochwasser erhoben wurden. Im Untersuchungszeitraum Mai bis Juli 1990 liess sich so die Wirkung von 11 Hochwassern und von März 1991 bis Juli 1992 jene von 9 Hochwassern mit Q_{max} >15 m³/s untersuchen.

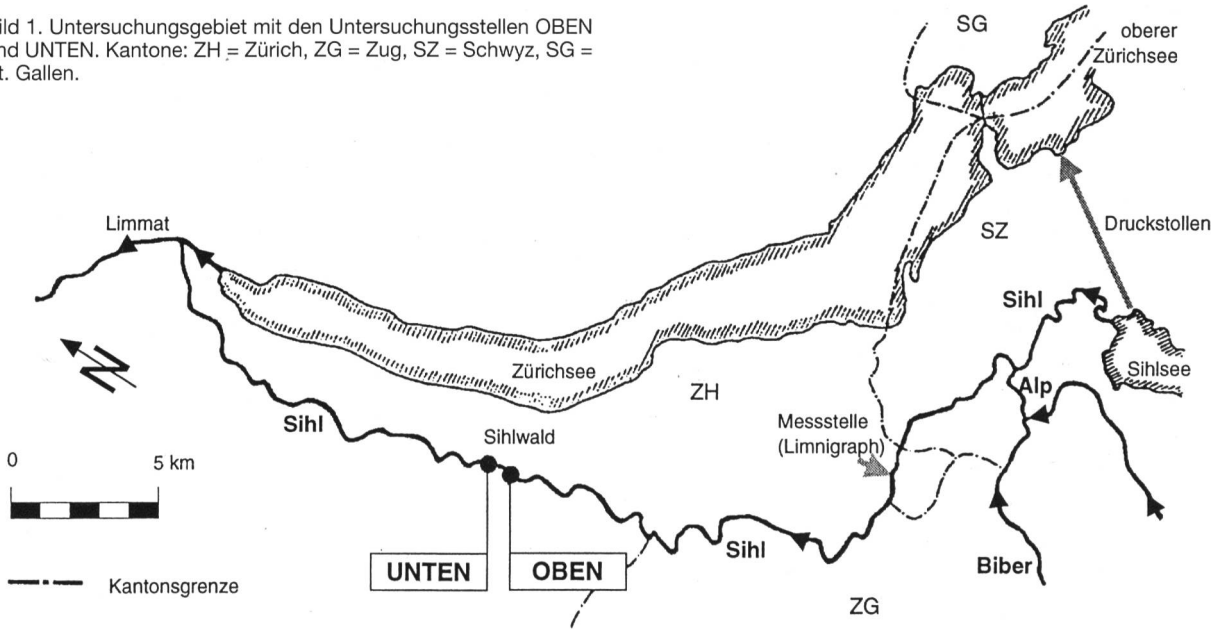


Bild 1. Untersuchungsgebiet mit den Untersuchungsstellen OBEN und UNTEN. Kantone: ZH = Zürich, ZG = Zug, SZ = Schwyz, SG = St. Gallen.

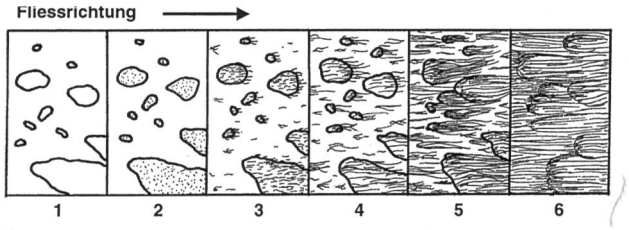


Bild 2. Bildskala zur Schätzung der Algenbewuchsdichte (*Thomas* und *Schanz* 1976). 1 = kein Bewuchs; 2 = Krustenalgen, deutliche Überzüge ohne Zotten; 3 = Ansätze von Fäden und Zotten; 4 = gut ausgebildete Fäden und Zotten; 5 = Gewässersohle zum grössten Teil mit Algen bedeckt, alle Steine überzogen; 6 = ganzer Bachgrund mit Algen bedeckt, Konturen der Steine nicht mehr sichtbar. Bei der Beurteilung sind auch Zwischenstufen erlaubt. Diese werden mit 1,5 bis 5,5 angegeben.

Resultate und Diskussion

Die Wirkung von Hochwassern

Hochwasser verändern die Gewässersohle und ihre Lebensgemeinschaften in den Fliessgewässern. In der Regel findet als Folge von Hochwassern ein Abschwemmen von sedimentiertem Feinmaterial, Algen und Wasserwirbellosen statt. Mit zunehmendem Abfluss steigen die hydraulischen Kräfte und damit das Potential, die Gewässersohle zu verändern. Dies geht auch aus Bild 3 hervor, das den Einfluss von Hochwassern auf den Algenbewuchs in der Sihl zeigt. Neben der Grösse eines Hochwassers spielt auch die Dauer eines Hochwassereinflusses eine bedeutende Rolle. Je länger ein Hochwasserabfluss mit algenreduzierender Wirkung dauert, desto weniger Algen befinden sich nach dem Hochwasser auf der Gewässersohle. Bei grossen Hochwassern tritt die Zeitkomponente in den Hintergrund, da bei starkem Geschiebetrieb der Algenbewuchs rasch zerstört wird. Im folgenden kann aufgrund einer zu geringen Datenmenge nicht auf die zeitliche Komponente von Hochwassern eingegangen werden.

Hochwasser gleicher Grösse und Dauer können in Abhängigkeit der Verhältnisse vor einem Hochwasser eine ganz unterschiedlich sichtbare Wirkung bezüglich des Zustandes der Gewässersohle haben. Falls vor einem grossen Hochwasser ein dichter Algenbewuchs vorhanden war, ist der Unterschied zwischen vorher und nachher meist gross, d.h. es hat aufgrund des Hochwassereinflusses eine starke Algenreduktion stattgefunden und u.U. liegt nachher eine blankgefegte Gewässersohle vor. Ist der Algenbewuchs jedoch bereits vorher spärlich (vor allem Vorkommen von Krustenalgen), kann kaum ein Unterschied festgestellt werden.

Um die Wirkung von Abflüssen bestimmter Grösse auf die Algenbewuchsdichte darzustellen, wurden die Algenbewuchsdichten (Flussbereiche links, Mitte und rechts) vor einem Hochwasser gegen die Algenbewuchsdichte nach einem Hochwasser aufgetragen (Bild 4). Ist die Algenbewuchsdichte nach einem Hochwasser kleiner als vorher, so liegt der Punkt rechts der Winkelhalbierenden. Falls nach dem Hochwasser keine Veränderung der Algendichte festgestellt wurde, liegt der Punkt auf der Winkelhalbierenden. Bei einer Zunahme der Algendichte befindet er sich links davon.

Trotz unterschiedlichen hydraulischen Gegebenheiten (Sohlenschubspannung) an den beiden Untersuchungsstellen OBEN und UNTEN als Folge der lokalen Gefällsverhältnisse (*Elber* et al. 1996), ergaben sich hinsichtlich der Reduktion des Algenbewuchses kaum Unterschiede. Die Ursache dieses Phänomens wird in *Elber* et al. (1996) diskutiert.

Bezüglich der Wirkung von Hochwassern auf die Algenbewuchsdichte konnten vier Abflusskategorien unterschieden werden (Bild 4):

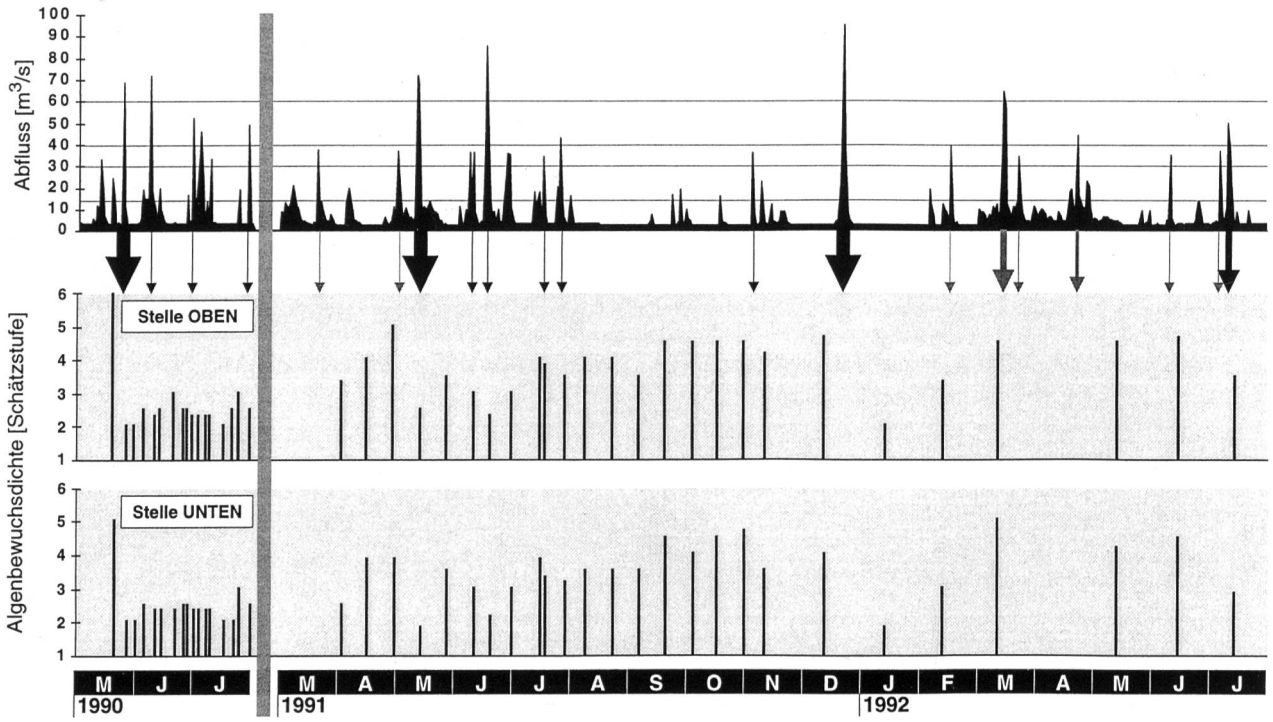


Bild 3. Tägliche Abflussmaxima an der Messstelle Sihl-Blattwag sowie Schätzungen der Algenbewuchsdichte (Mittelwerte der drei über den Flussquerschnitt verteilten Bereiche links, Mitte, rechts). Die Wirkung von Hochwassern auf die Algenbewuchsdichte ist in Form von Pfeilen dargestellt: ⟶ geringe Wirkung, Abnahme bis 1 Schätzstufe, ➡ mittlere Wirkung, Abnahme bis 2 Schätzstufen, ➡ starke Wirkung, Abnahme mehr als 2 Schätzstufen. Schraffierte Pfeile weisen auf vermutlich stattgefundene, aber infolge Fehlens von Probenahmen unmittelbar vor und/oder nach einem Hochwasser nicht feststellbare Wirkungen von Hochwasser hin. Schätzstufen siehe Bild 3.

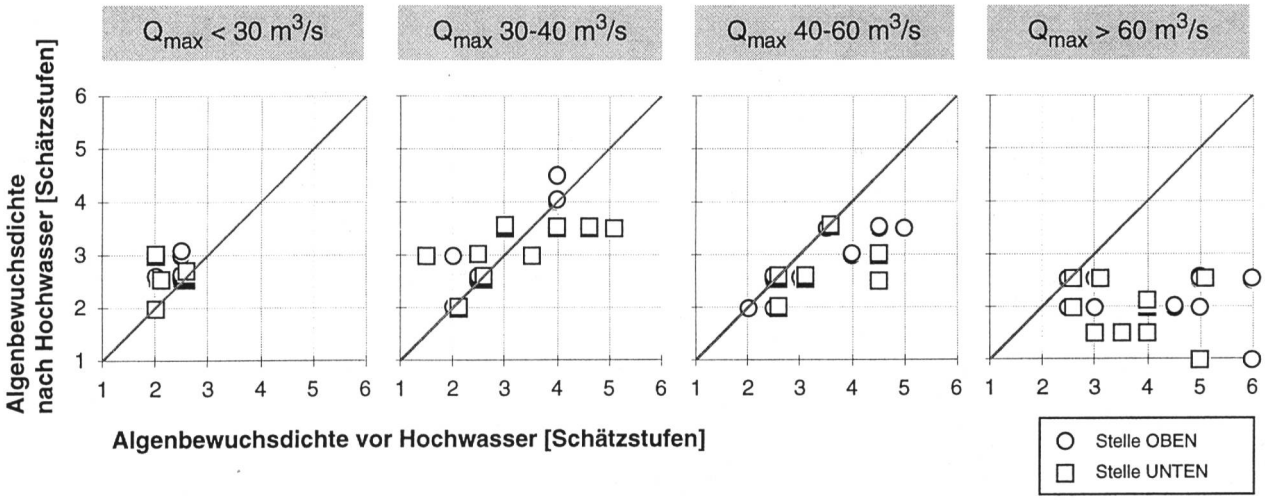
- Hochwasser mit Q_{max} <30 m³/s: Es konnte keine Reduktion der Algenbewuchsdichte festgestellt werden, d. h. die Ausgangsbewuchsdichte wurde nicht oder nur sehr wenig beeinflusst. Oft wurde als Folge des zwischen den Probenahmen stattgefundenen Wachstums nach einem Hochwasser eine grössere Algenbewuchsdichte geschätzt als vorher. Bei dieser Hochwasserkategorie gilt es zu erwähnen, dass Beobachtungen mit Algenbewuchsdichten ≥3 vor einem erhöhten Abfluss sowie mit Abflüssen zwischen 20 und 30 m³/s fehlen.
- Hochwasser mit Q_{max} 30 bis 40 m³/s: Hier hing der Zustand, der nach einem Hochwasser beobachtet werden konnte, von der Ausgangsbewuchsdichte ab. Im allgemeinen wurden beim Vorhandensein von grösseren Bewuchsdichten vor einem Hochwasser (Bewuchsdichte >3: deutliche Algenfäden sind entwickelt) danach geringere Bewuchsdichten festgestellt. Bestand der Bewuchs jedoch aus Krustenalgen (Bewuchsdichte <3), so konnte keine Abnahme der Bewuchsdichte ermittelt werden oder es hatte zwischen den Probenahmen ein Algenwachstum stattgefunden.
- Hochwasser mit Q_{max} 40 bis 60 m³/s: Hochwasser dieser Grössenordnung hatten in den meisten Fällen eine Reduktion der Algenbewuchsdichte zur Folge. Je grösser die Ausgangsbewuchsdichte war, desto grösser war der Unterschied zwischen vorher und nachher. War vor einem Hochwasser eine Algenbewuchsdichte >3 vorhanden, wurde diese mehrheitlich auf eine Bewuchsdichte von 2,5 bis 3,5 reduziert. Bei einer Ausgangsbewuchsdichte von <3 durfte nach einem entsprechenden Hochwasser mit einer Algenbewuchsdichte von 2 bis 2,5 gerechnet werden.
- Hochwasser mit Q_{max} >60 m³/s: Hochwasser dieser Grössenordnung hatten mit wenigen Ausnahmen immer eine Reduktion der Algenbewuchsdichte zur Folge. Nach solchen Abflüssen lagen unabhängig vom Ausgangszustand des Algenbewuchses immer höchstens Krustenalgen und einzelne Ansätze von Fadenalgen vor (Bewuchsdichte max. 2,5).

Überwachungs- und Handlungskonzept zur Vermeidung von Algenwucherungen in der Sihl

Aufgrund der Beobachtungen zur Wirkung von Hochwassern auf die Gewässersohle in der Sihl wurde ein leicht handhabbares Überwachungs- und Handlungskonzept zur Vermeidung von Algenwucherungen in der kritischen Zeit von Mai bis Oktober ausgearbeitet (Bild 5). Es basiert auf der Beurteilung der Algenbewuchsdichte und der Registrierung von Hochwassern mit Q_{max} >40 m³/s, welche, wie gezeigt, immer eine Reduktion des Algenbewuchses bewirkten.

Als anzustrebender Zustand bezüglich des Algenbewuchses betrachteten wir eine Bewuchsdichte von höchstens 4 (Vorliegen von gut ausgebildeten Algenfäden und -zotten).

Grössere Bewuchsdichten können als Algenwucherung bezeichnet werden. Die Untersuchungen zeigten (AquaPlus 1993a, b), dass in der hinsichtlich Algenwucherungen kritischen Zeit von Mai bis Oktober zur Erreichung dieses Zieles etwa einmal monatlich ein Abfluss mit Q_{max} >40 m³/s



Hochwasserkategorie:	Q_{max} < 30 m³/s	Q_{max} 30-40 m³/s	Q_{max} 40-60 m³/s	Q_{max} > 60 m³/s
Algenbewuchsdichte *vor* Hochwasser	**Algenbewuchsdichte *nach* Hochwasser**			
gross Schätzstufe 4.5 - 6	**gross *** Algenwachstum	**mittel** Schätzstufe 3.5	**klein-mittel** Schätzstufe 2.5-3.5	**klein** Schätzstufe max. 2.5
mittel Schätzstufe 3 - 4	**mittel-gross *** Algenwachstum	**mittel** Schätzstufe 3 / 4 z.T. Algenwachstum	**klein-mittel** Schätzstufe 2-3.5	**klein** Schätzstufe max. 2.5
klein Schätzstufe ≤ 2.5	**klein-mittel** Algenwachstum	**klein** Schätzstufe max. 2-3 z.T. Algenwachstum	**klein** Schätzstufe max. 2.5	**klein** Schätzstufe max. 2.5

Bild 4. Oben: Algenbewuchsdichten vor und nach Einwirkung von Hochwassern der Kategorien <30 m³/s, 30 bis 40 m³/s, 40 bis 60 m³/s und >60 m³/s.
Unten: Matrix zur Ermittlung der Algenbewuchsdichte nach einem Hochwasser bestimmter Grösse in Abhängigkeit des Algenbewuchses vor dem Hochwasserereignis. Schätzstufen siehe Bild 3.
* Annahmen, da keine Beobachtungen dieser Faktorenkombination vorhanden.

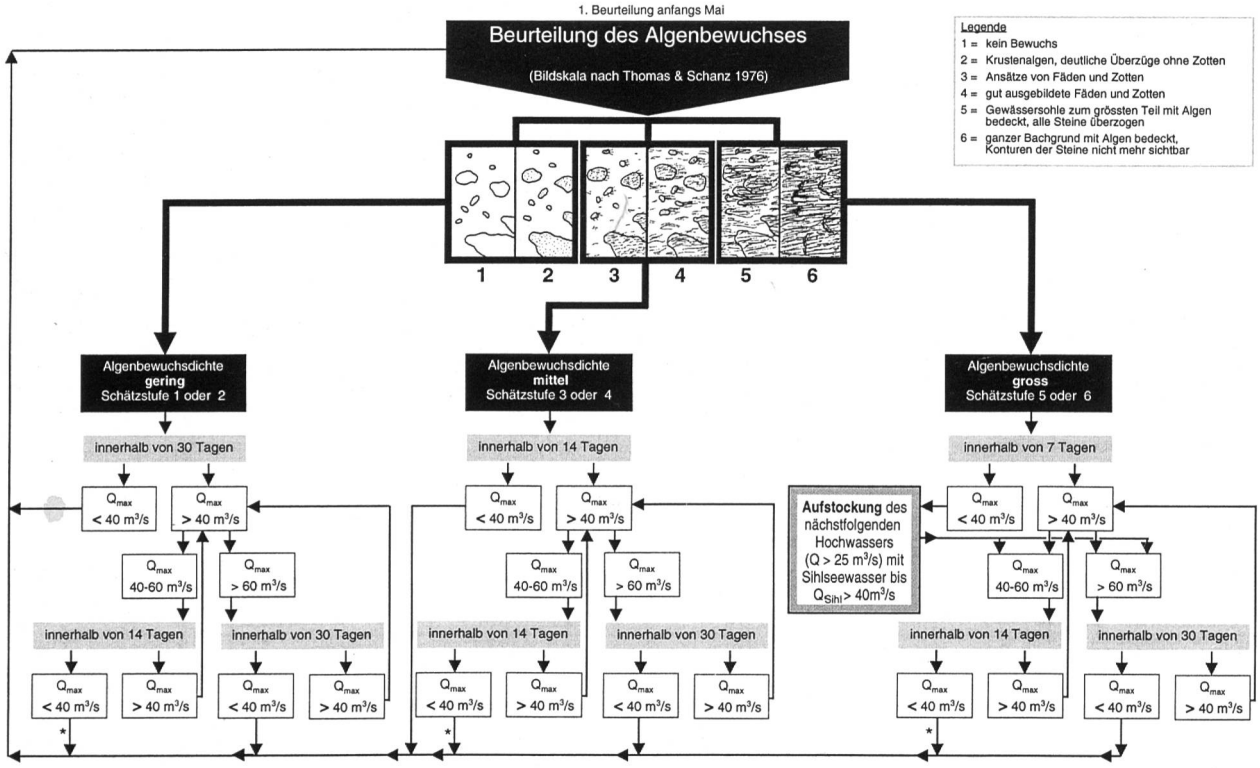


Bild 5. Überwachungs- und Handlungskonzept zur Vermeidung von Algenwucherungen in der Sihl. Erläuterungen siehe Text.
* Falls ein Hochwasser mit Q_{max} 40 bis 60 m³/s innerhalb der ersten 15 Tage nach einem Hochwasser mit Q_{max} >60 m³/s eingetreten ist, so erfolgt die Neubeurteilung der Algenbewuchsdichte 30 Tage nach dem Hochwasser mit Q_{max} >60 m³/s und nicht bereits 14 Tage nach dem Hochwasser mit Q_{max} 40 bis 60 m³/s.

während ca. 2,5 Stunden erforderlich ist. Nach solchen Abflüssen beträgt die Algenbewuchsdichte in der Regel höchstens die Schätzstufen 3,5 *(Bild 4)*.

Handhabung des Überwachungs- und Handlungskonzeptes anhand eines Beispieles

Die erste Beurteilung im Mai ergibt beispielsweise eine mittlere Algenbewuchsdichte (Schätzstufe 3 oder 4). Findet nun innerhalb der nächsten 14 Tage kein natürliches Hochwasser mit Q_{max} >40 m³/s statt, ist nach diesen 14 Tagen erneut eine Beurteilung des Algenbewuchses durchzuführen. Im anderen Fall, also beim Auftreten eines natürlichen Hochwassers mit entsprechend grossem Abfluss, kann mit der Beurteilung des Algenbewuchses zugewartet werden. Betrug der Maximalabfluss des natürlichen Hochwassers zwischen 40 und 60 m³/s, so erfolgt 14 Tage danach eine Neubeurteilung des Algenbewuchses; bei einem Abflussmaximum >60 m³/s geschieht dies 30 Tage danach. Findet nun innerhalb dieser 14 bzw. 30 Tage wiederum ein natürliches Hochwasser mit Q_{max} >40 m³/s statt, kann entsprechend der erreichten Abflussspitze mit der Beurteilung des Algenbewuchses weiter zugewartet werden.

Dem Problemfall mit grossen Algendichten (Schätzstufe >4) wird wie folgt begegnet: Findet innerhalb von sieben Tagen nach der Feststellung einer grossen Algenbewuchsdichte kein natürliches Hochwasser mit Q_{max} >40 m³/s statt, so ist das nächstfolgende Hochwasser mit Wasser aus dem Sihlsee soweit aufzustocken, dass ein Abfluss von 40 m³/s überschritten wird. Da aus technischen Gründen maximal 15 m³/s aus dem Sihlsee in die Sihl geleitet werden können, muss der Abfluss der Sihl bei der Messstelle Blattwag (Limnigraph) mehr als 25 m³/s betragen, um den erwünschten Abfluss mit der Aufstockung zu erreichen.

Bei der Aufstockung ist darauf zu achten, dass das Anschwellen und Abklingen des Abflusses nicht zu rasch erfolgt. So wird Tieren – Fischen und Wasserwirbellosen – die Gelegenheit geboten, sich beim Ansteigen des Wasserspiegels in Sicherheit zu bringen und beim Abklingen des Hochwassers ins Hauptgerinne zurückzugelangen (kein Einschluss in abgetrennten Kompartimenten). Zudem muss eine ausreichende Nachspülung des Flussbettes stattfinden, da im anderen Fall die Möglichkeit der Sedimentation einer grösseren Menge von Feinmaterial u.a. aus dem Sihlsee besteht.

Mit dem Aufstocken von Hochwassern wird die Auftretenshäufigkeit der durch den Bau des Sihlsees seltener gewordenen sohlenbeeinflussenden Hochwasser etwas erhöht. Es findet bezüglich dieser Hochwasser eine Annäherung an den Zustand vor Inbetriebnahme des Sihlsees statt. Gegenüber künstlichen Schwällen mit Q_{max} >40 m³/s, welche im übrigen technisch nicht realisierbar sind, weist die Aufstockung von Hochwassern auch in gewässerökologischer Hinsicht Vorteile auf. Insbesondere stellt sie keinen zusätzlichen Stress zu den natürlich stattfindenden Hochwassern dar. Zudem sind mit der Aufstockung geringere wirtschaftliche Einbussen verbunden als mit der Erzeugung eines entsprechend grossen künstlichen Schwalles. Aus diesen Gründen stellt die Aufstockung von natürlichen Hochwassern für die Sihl ein geeignetes Instrument dar, um unerwünschte Algenwucherungen, aber auch die übermässige Ablagerung von Feinsediment auf der Flusssohle zu vermeiden.

Verdankungen
Wir danken den Herren *W. Vetterli* und *Dr. W. Meier* vom Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich für die Begleitung der Arbeit und das Interesse, welches sie dieser entgegenbrachten.

Literaturverzeichnis

AquaPlus (1993a): Biologische Untersuchungen in der Sihl 1991/92. Einfluss von Hochwassern auf die Gewässersohle und deren Lebensgemeinschaften. Im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich. 68 S. und Anhang, unveröffentlicht.

AquaPlus (1993b): Abflussmanagement in der Sihl (Kt. Zürich). Massnahmen zur Vermeidung von Algenwucherungen in einem Gewässer mit anthropogen verändertem Abflussregime. Im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich. 37 S. und Anhang, unveröffentlicht.

Basler und Hofmann (1984): Das Hochwasserrisiko während der Sihlquerung. Im Auftrag der Schweizerischen Bundesbahnen SBB und der Zürcher S-Bahn. 11 S. und Anhang, unveröffentlicht.

Elber, F. (1989): Bericht über den Algenaufwuchs in der Sihl. Im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich. 8 S. und Anhang, unveröffentlicht.

Elber, F., Hürlimann, J., und *Niederberger, K.* (1992): Biologische Begleitung der Schwallversuche vom Sommer 1990 in der Sihl. «wasser, energie, luft» *84* (3/4): 42–50.

Elber, F., Roth, M., Hürlimann, J., Niederberger, K. und *Bezzola, G. R.* (1996): Reduktion des Algenbewuchses bei verschiedenen Abflüssen an zwei hydraulisch unterschiedlichen Stellen in der Sihl. «wasser, energie, luft», S. 59–62 in dieser Ausgabe.

Thomas, E. A., und *Schanz, F.* (1976): Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärproduktion in Fliessgewässern, ein limnologisches Problem. «Vjsschr. Natf. Ges. Zürich», *121:* 309–317.

Vetterli, W. (1992): Schwallversuche in der Sihl. «wasser, energie, luft» *84* (1/2): 20–23.

Adresse der Verfasser: *Fredy Elber,* Dr. phil. II, *Joachim Hürlimann,* Dr. phil II und *Klemens Niederberger,* dipl. phil. II, AquaPlus, Gewerbestrasse 51, CH-6314 Unterägeri.

Reduktion des Algenbewuchses

bei verschiedenen Abflüssen an zwei hydraulisch unterschiedlichen Stellen in der Sihl

Fredy Elber, Martin Roth, Joachim Hürlimann, Klemens Niederberger und Gian Reto Bezzola

Einleitung

Im Rahmen von Dotier- und Schwallversuchen in der Sihl (*Elber* et al. 1992, *Vetterli* 1992) liess sich an zwei hydraulisch unterschiedlichen Stellen die Wirkung verschiedener Abflüsse hinsichtlich der Reduktion des Algenbewuchses untersuchen. Diese Erhebungen wurden mit der Beobachtung von natürlichen Hochwassern ergänzt. Es zeigte sich, dass für die Sihl bei Sihlwald Abflüsse von 40 m^3/s und mehr notwendig sind, um die Algenbewuchsdichte zu dezimieren. Basierend auf den Untersuchungsergebnissen wurde ein Überwachungs- und Handlungskonzept zur Vermeidung von Algenwucherungen in der Sihl vorgeschlagen, welchem die Registrierung von Hochwassern (Maximalabfluss) und der Algenbewuchsdichte zugrunde liegen (*Elber* et al. 1996).

Auf Anregung seitens der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) wurde im folgenden versucht, die aus den Untersuchungen an der Sihl gewonnenen Erkenntnisse mit Hilfe eines hydraulischen Ansatzes zu verallgemeinern und damit auf andere Fliessgewässer übertragbar zu machen. Anstelle des Maximalabflusses selbst wird die für unterschiedliche Abflüsse bestimmte Sohlenschubspannung zur Verminderung des Algenbewuchses in Beziehung gesetzt.

Grundsätzlich sind folgende Prozesse vorstellbar, welche zu einer Reduktion des Algenbewuchses führen:

- Direkte Einwirkung der Strömung: Infolge der durch Reibung des Wassers an den Algen hervorgerufenen Kräfte reissen oder lösen sich die Algenfäden vom Substrat.
- Indirekte Einwirkung der Strömung: Bei der Kollision von Geschiebekörnern werden die Algen vom Substrat abgeschabt. Es kann weiter differenziert werden zwischen
  a) der Bewegung umliegender Körner, die auch deutlich kleiner sein können (Sandstrahleffekt), und
  b) der Bewegung des algenbewachsenen Korns selbst.

Material und Methoden

Untersuchungsstellen

Die Untersuchungsstellen in der Sihl befinden sich bei Sihlwald (siehe *Elber* et al. 1996, Bild 1). Die Stelle OBEN liegt innerhalb einer typischen Fliessstrecke, die Verhältnisse an der Stelle UNTEN werden durch den Rückstau einer Sohlenschwelle beeinflusst (Bild 4). Das Längenprofil (Bild 1) zeigt die unterschiedlichen Gefällsverhältnisse an den beiden Untersuchungsstellen.

Im Querprofil weisen beide Untersuchungsstellen eine Trapezform mit annähernd ebener Sohle auf. Die Böschungswinkel betragen 20° und 15° an der Stelle OBEN, bzw. 50° und 25° an der Stelle UNTEN (Bild 3). Im untersuchten Abschnitt ist der Flusslauf der Sihl näherungsweise gerade und weist eine Sohlenbreite von 30 bis 40 m auf. Die Böschungen sind im oberen Bereich mit Gras und Büschen sowie vereinzelten Bäumen bewachsen. Im unteren Bereich ist auf der rechten Seite ein alter Blocksatz, auf der linken eine Böschungsmauer erkennbar. Der Uferbewuchs umfasst hier vereinzelte Büsche und Bäume.

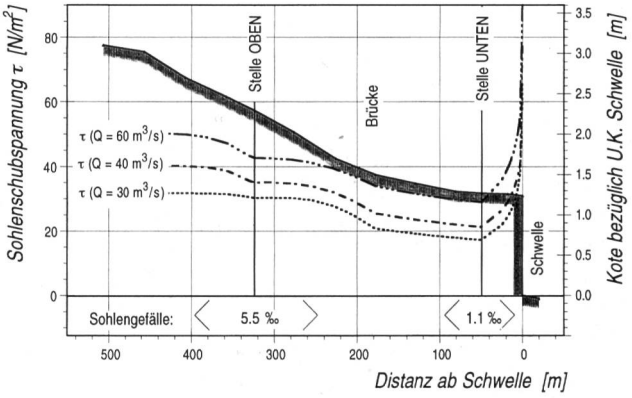


Bild 1. Längenprofil der Sihl bei Sihlwald (100fach überhöht).

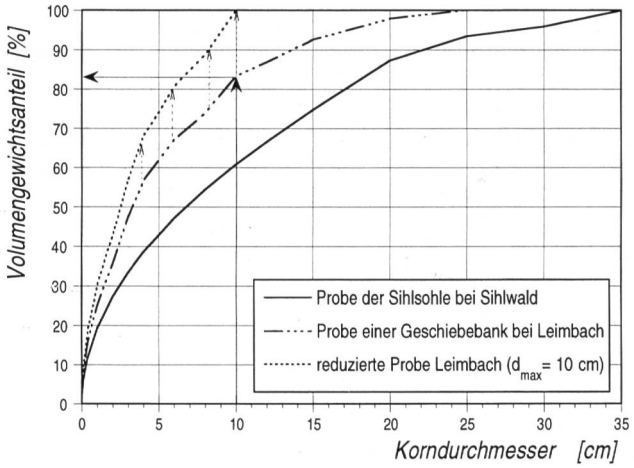


Bild 2. Kornverteilung des Unterschichtmaterials der Sihlsohle (Auswertung Linienzahlanalyse).