

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

Artikel: Reduktion des Algenbewuchses
Autor: Elber, Fredy / Roth, Martin / Hürlimann, Martin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940339>

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: 12.01.2026

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

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.

- 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.

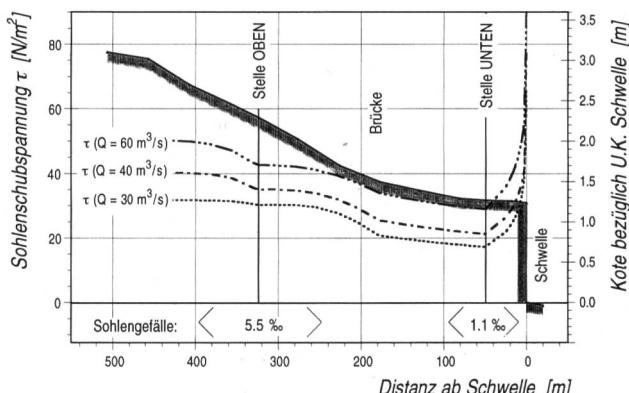


Bild 1. Längenprofil der Sihl bei Sihlwald (100fach überhöht).

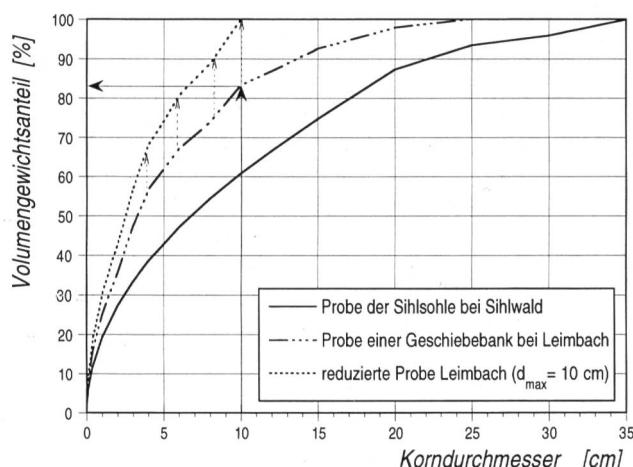


Bild 2. Kornverteilung des Unterschichtmaterials der Sihlsohle (Auswertung Linienzahlanalyse).



Bild 3. Sihl bei Sihlwald, Stelle UNTEN, Blick flussabwärts.

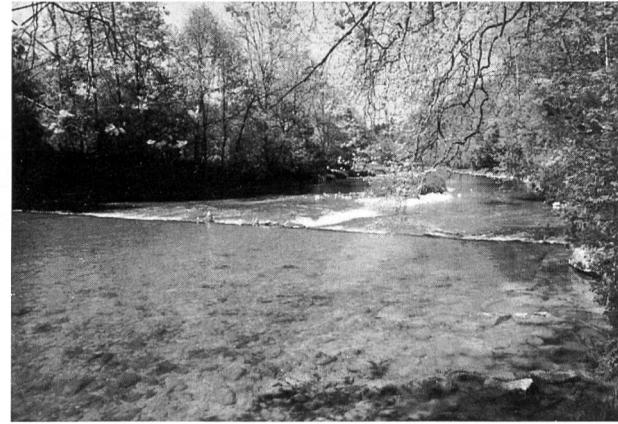


Bild 4. Sihl bei Sihlwald, Stelle UNTEN, Blick flussabwärts zur Schwelle.

Kornzusammensetzung des Sohlenmaterials

Mittels einer Linienprobe wurde rund 80 m unterhalb der Untersuchungsstelle OBEN die Verteilung der Grobkomponenten der Deckschicht erhoben. Gemäss Fehr (1987) kann die Linienprobe der Deckschicht in eine Volumenprobe des Unterschichtmaterials umgerechnet werden. Die so berechnete Verteilung entspricht derjenigen einer herkömmlichen Siebanalyse der Unterschicht (Bild 2). Diese kann auch erhalten werden, indem zuerst die Deckschicht entfernt und anschliessend ein Probevolumen des Unterschichtmaterials ausgesiebt wird.

Die Geschiebeführung im betrachteten Abschnitt der Sihl ist deutlich kleiner als das theoretische Transportvermögen. Ein Aufreissen der Deckschicht ist erst bei grossen Hochwassern mit Abflüssen deutlich über 200 m³/s zu erwarten, womit im allgemeinen kaum eine grössere Geschiebeaufnahme aus Sohlenerosion erfolgt. Ebenso kann der Eintrag durch seitliche Zubringer als eher gering eingestuft werden, wobei aber im Vergleich zum Sohlenmaterial deutlich feineres Geschiebe eingetragen wird. Bei den Ereignissen, welche in diese Untersuchung einbezogen werden konnten, erfolgte somit der Transport des in vergleichsweise geringer Menge vorhandenen und feinen Geschiebes über eine stabile, abgepflasterte Sohle.

Zum Vergleich mit der Kornverteilung des Sohlenmaterials ist in Bild 2 auch das Ergebnis einer früheren Probe aus dem Raum Leimbach dargestellt, bei der eine Bank aus feinerem und daher eher mobilem Geschiebe erfasst wurde.

Berechnung der Sohlenschubspannungen

Die Sohlenschubspannungen an den beiden Untersuchungsstellen wurden mittels Staukurvenrechnungen über den in Bild 1 dargestellten Flussabschnitt ermittelt.

Die Berechnungen basieren auf einer eindimensionalen Betrachtung. Dabei geht man von der Modellvorstellung aus, dass die Fliessgeschwindigkeit über den gesamten Querschnitt konstant und gleich der mittleren Fliessgeschwindigkeit im Profil ist. Bei kompakten Profilen sind die Fliessgeschwindigkeiten in der Regel im Wandbereich kleiner, wie dies aus dem Isotachenbild für ein Querprofil mit deutlichem Wandeinfluss ersichtlich ist (Bild 5, oben). Die zwischen den Böschungsfusspunkten liegende, in Bild 6 mit F_s bezeichnete Teilfläche entspricht der Einflusszone der Flusssohle. Als mittlere Sohlenbelastung über die Flussbreite kann nun die Schubspannung τ bestimmt werden zu:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot \frac{F_s}{B_s} \cdot J_e = \rho \cdot g \cdot R_s \cdot J_e,$$

darin bezeichnen ρ die Dichte des Wassers, g die Erdbelebung, B_s die Breite der beweglichen Sohle, R_s den hydraulischen Radius des Sohlenquerschnitts und J_e das Energieliniengefälle. In Bild 3 ist im Vergleich zu dieser mittleren Sohlenschubspannung die Schubspannungsverteilung τ_{eff} über die Sohlenbreite, wie sie aus Geschwindigkeitsmessungen im Querschnitt bestimmt werden könnte, eingetragen.

Algenbewuchsdichte

Die Algenbewuchsdichte wurde anhand der sechsstufigen Bildskala nach Thomas und Schanz (1976) vorgenommen

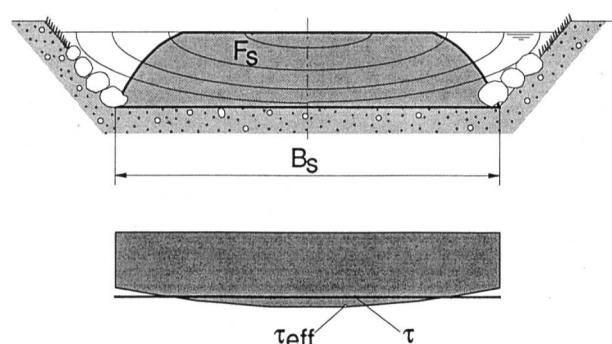


Bild 5. Isotachendarstellung der effektiven Geschwindigkeitsverteilung in einem Abflussquerschnitt mit erheblichem Wandeinfluss (oben). Schubspannungsverteilung, wie sie aus Geschwindigkeitsmessungen im Querschnitt bestimmt werden könnte, im Vergleich zur mittleren Sohlenschubspannung (unten).

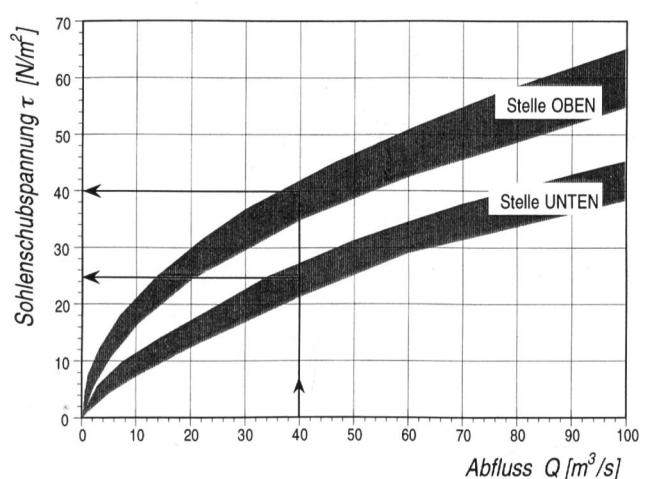


Bild 6. Sohlenschubspannung an den Stellen OBEN und UNTEN bei unterschiedlichen Abflüssen.

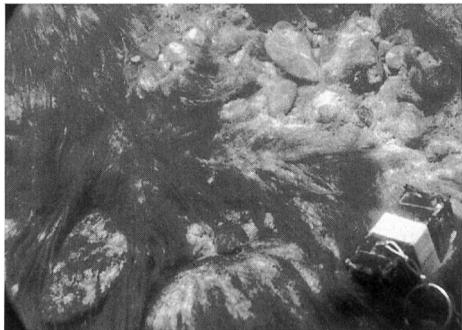


Bild 7. Nahaufnahme, algenbewachsener Untergrund (Grünalge *Cladophora glomerata*). Weisser Streifen = 2 cm.



Bild 8. Nahaufnahme, blankgefeigter Untergrund nach Hochwasser mit $Q_{\max} > 60 \text{ m}^3/\text{s}$.

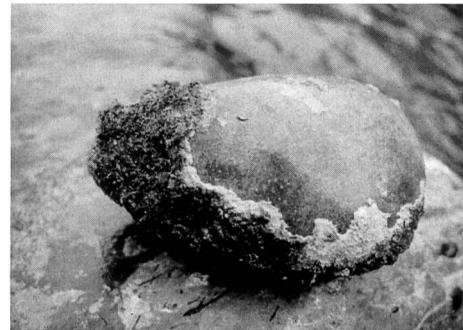


Bild 9. Mit Kalkkruste überzogener Stein nach einem Hochwasser mit $Q_{\max} > 60 \text{ m}^3/\text{s}$. Aufgrund der mechanischen Einwirkung wurde ein Teil der Kalkkruste abgeschlagen.

(siehe *Elber et al. 1996, Bild 2*, in diesem Heft). Die Schätzungen wurden für den linken und den rechten Uferbereich sowie für die Flussmitte durchgeführt.

Auswertung

Es wurden lediglich Daten berücksichtigt, die kürzere Zeit vor (maximal 26, meist aber weniger als 10 Tage vorher) bzw. nach einem Hochwasser erhoben wurden (maximal 20, meist aber weniger als 5 Tage nachher). 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 Maximalabfluss von mehr als $15 \text{ m}^3/\text{s}$ verfolgen.

Resultate

Hydraulische Verhältnisse

Die Darstellung der Sohlenschubspannungen in Abhängigkeit der Abflussmengen (Bild 4) zeigt, dass sich die beiden untersuchten Profile hinsichtlich der hydraulischen Belastung der Sohle deutlich unterscheiden. Die angegebene Bandbreite ergibt sich durch die in der Natur vorhandenen Unterschiede zwischen der Mitte des Flusses und dessen Randbereich sowie die unterschiedlichen rechnerischen Ansätze zur Berücksichtigung des Wandeinflusses.

Die unterschiedlichen Schubspannungen sind in erster Linie eine Folge der lokalen Gefälsverhältnisse. An der Untersuchungsstelle OBEN herrscht annähernd Normalabfluss; das Energieliniengefälle entspricht in etwa dem Sohlengefälle von 5,5%. An der Stelle UNTEN beträgt das Sohlengefälle noch rund 1%. Mit zunehmender Abflussmenge nähert sich hier das Energieliniengefälle als Folge der Beschleunigung des Abflusses auf die Schwelle zu (Senkungskurve) einem Wert von 3 bis 4% an. Die Darstellung des Verlaufs der Sohlenschubspannungen im Längenprofil (Bild 1) zeigt, dass sich im Bereich der Stelle UNTEN ein Minimum ergibt, bevor die Schubspannungen vor der Schwelle wieder stark zunehmen. Die Lage der Untersuchungsstelle UNTEN ist daher in bezug auf die hydraulischen Verhältnisse problematisch. Auf einer Strecke von 20 m in Fließrichtung variieren die Sohlenschubspannungen bei gleichem Abfluss um rund 20% (Bild 1). Eine Untersuchung des Zusammenhangs Algenbewuchsdichte – Sohlenbeanspruchung ist dadurch an dieser Stelle mit grösserer Unsicherheit behaftet.

Einfluss der Hochwasser auf die Algenbewuchsdichte

Aufgrund der sehr unterschiedlichen hydraulischen Ver-

hältnisse an den Stellen OBEN und UNTEN durfte erwartet werden, dass sich die beiden Stellen auch hinsichtlich der Reduktion des Algenbewuchses bei Hochwasser verschiedenen verhalten würden, d.h. dass an der Stelle OBEN aufgrund der grösseren Sohlenschubspannung eine stärkere Reduktion des Algenbewuchses erfolgen würde als an der Stelle UNTEN. Aus den Bildern 5 und 6 in *Elber et al. (1996, in diesem Heft)* geht jedoch hervor, dass Hochwasser gleicher Grössenordnung an beiden Untersuchungsstellen bezüglich des Algenbewuchses ähnlich wirkten; d.h. nach einem Hochwassereinfluss wurde für die Stellen OBEN und UNTEN in der Regel dieselbe Algenbewuchsdichte geschätzt. *Biggs und Thomson (1995)* zeigten, dass je nach Artenzusammensetzung verschiedenen grossen Anteilen des Algenbewuchses durch (gleiche) hydraulische Einflüsse vom Substrat gelöst werden. Da sich die Algenzusammensetzung an den beiden Untersuchungsstellen in der Sihl kaum unterschied, kann davon ausgegangen werden, dass im vorliegenden Fall hydraulische Einflüsse den Hauptwirkungsfaktor darstellten. Über die Entwicklung der Algen in der Sihl finden sich Angaben in *Elber et al. (in Vorbereitung)*.

Nach den 20 beobachteten Hochwassern wurde, betrachtet über die gesamte Querschnittsfläche (gemittelte Schätzwerte), 16mal an den Stellen OBEN und UNTEN dieselbe Algenbewuchsdichte festgestellt und 4mal ergab sich für die Stelle OBEN eine etwas höhere Algenbewuchsdichte. An der Stelle UNTEN wurde nach Hochwasser nie eine grössere Bewuchsdichte festgestellt als OBEN. Werden die Uferbereiche, welche sich insbesondere an der Stelle UNTEN hinsichtlich der Bewuchsreduktion anders verhielten als die Flussmitte, für den Vergleich der beiden Stellen weggelassen und lediglich die Flussmitte berücksichtigt, zeigt sich, dass in 12 Fällen OBEN und UNTEN nach einem Hochwassereinfluss dieselbe Bewuchsdichte resultierte und nach 8 Hochwassern die Stelle OBEN eine grössere Algenbewuchsdichte aufwies. Die teilweise etwas höheren Werte nach einem Hochwassereinfluss an der Stelle OBEN erklären sich wenigstens zu einem Teil mit der bereits vor dem Hochwasser höheren Algenbewuchsdichte als an der Stelle UNTEN.

Diskussion

Die Untersuchungen in der Sihl zeigten, dass Hochwasser an zwei hydraulisch unterschiedlichen Stellen bezüglich der Reduktion des Algenbewuchses sehr ähnlich reagierten. Folgende Erklärungen hierfür können in Betracht gezogen werden, wobei die dritte für die Gegebenheiten in der Sihl von entscheidender Bedeutung sein dürfte.

1. Die Algen haben sich entsprechend den herrschenden hydraulischen Bedingungen angepasst, indem sie beispielsweise zugfestere Faden entwickelt haben oder besser am Substrat haften. Nähere Hinweise hierüber würden allenfalls Versetzungsversuche oder Laborexperimente mit bewachsenem Substrat beider Stellen geben.

2. An den beiden Untersuchungsstellen finden unterschiedliche Prozesse bei der Algenreduktion statt. An der Stelle UNTEN wurde in der Regel eine grössere Menge Feinsediment festgestellt als OBEN. Feinsediment dient bei konstanten hydrologischen Verhältnissen auch als Substrat von Fadenalgen. Bei Hochwasser wird das Feinsediment jedoch bereits bei Abflüssen von 20 bis 30 m³/s abgeschwemmt, womit das Substrat samt Fadenalgen eliminiert wird.

An der Stelle OBEN ist demgegenüber bei entsprechendem Abfluss ein Abschaben des Algenbewuchses durch Kollision von transportiertem, vergleichsweise gröberem Geschiebe vorstellbar.

3. Bei dem für eine merkliche Algenreduktion mindestens notwendigen Abfluss von 40 m³/s ergeben sich an der Stelle OBEN mittlere Sohleinschubspannungen von rund 40 N/m², an der Stelle UNTEN solche von rund 25 N/m² (Bild 6).

Die Sohleinschubspannung von 40 N/m² entspricht der kritischen Schubspannung für den Transportbeginn eines Geschiebekorns mit einem Durchmesser von 5,3 cm. Die in Bild 3 gezeigte Probe Leimbach, welche als typisch für das mobile Geschiebe in der Sihl bezeichnet werden kann, weist einen massgebenden Korndurchmesser von gerade etwa 5,3 cm auf. Gemäss der klassischen Geschiebetransporttheorie wäre damit der Abfluss von 40 m³/s – unter Annahme einer Kornzusammensetzung des transportierten Geschiebes entsprechend der Kornverteilung Leimbach – identisch mit dem Grenzabfluss für das Einsetzen des Geschiebetransports.

Demgegenüber entspricht die Sohleinschubspannung von 25 N/m² bei der im Rückstaubereich der Sohleinschwellen liegenden Stelle UNTEN der kritischen Schubspannung für einen Korndurchmesser von etwa 3,3 cm. Daraus lässt sich wiederum in Anlehnung an die klassische Transporttheorie folgern, dass nur noch eine reduzierte und damit verfeinerte Kornverteilung mit einem massgebenden Korndurchmesser von 3,3 cm durch diesen Abschnitt hindurchtransportiert werden kann. Die Reduktion der Kornverteilung erfolgt durch Ablagerung der grössten Körner im Übergangsbereich abnehmender Schubspannungen.

Zieht man nun zum Vergleich erneut die Probe Leimbach bei, so kann durch «Entfernen» der Körner mit einem Durchmesser über 10 cm eine reduzierte Kornverteilung mit einem massgebenden Durchmesser von 3,3 cm erhalten werden, wie dies in Bild 2 veranschaulicht wird. Weiter ist ersichtlich, dass somit rund 83 % (Volumengewichtsprozent) des Geschiebes, welches die Stelle OBEN passiert, auch durch den Abschnitt mit der Stelle UNTEN transportiert werden kann. Betrachtet man anstelle der Gewichtsprozente die Anzahl der Körner, welche durch den jeweiligen Abschnitt hindurchtransportiert werden, ist kaum noch ein Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsstellen feststellbar.

Aus dieser einfachen Betrachtung kann also gefolgt werden, dass zwar für einen Abfluss von 40 m³/s der Wert der Schubspannung an der Stelle UNTEN nur rund 63 % jenes an der Stelle OBEN beträgt, jedoch nahezu 100 % der Anzahl Geschiebekörner, welche die Stelle OBEN passieren, auch durch den Querschnitt UNTEN transportiert werden können.

Geht man nun von der Vorstellung aus, dass die Algenreduktion in Zusammenhang mit der Bewegung des Geschiebes gesetzt werden kann, so darf für die beiden Untersuchungsstellen ein ähnliches Verhalten erwartet werden.

Die obigen Betrachtungen schliessen nur dauernd in Sohleinschubspannung transportiertes Geschiebe mit ein. Feinere Anteile (Sand und feiner), die in Suspension transportiert werden, passieren – zumindest bei Mittel- und Hochwasser – den betrachteten Abschnitt ablagerungsfrei und daher die beiden Stellen in gleicher Menge.

Schlussfolgerungen

Abschliessende Erklärungen hinsichtlich der Ursache der trotz hydraulischer Differenzen ähnlichen Wirkung von Hochwassern an den zwei Untersuchungsstellen in der Sihl können aufgrund der vorliegenden Daten nicht gegeben werden. Ein Zusammenhang der Sohleinschubspannungen mit der Reduktion des Algenbewuchses kann nur unter Berücksichtigung weiterer Aspekte hergestellt werden und bedarf daher einer umfassenderen Datengrundlage. Die Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die für eine merkliche Reduktion des Algenbewuchses notwendige Abflussmenge mit dem Grenzabfluss für das Einsetzen eines Geschiebetrabes zumindest in der Grössenordnung übereinstimmt. Es erscheint somit sinnvoll, dem Zusammenhang dieser beiden Grössen bei einer Übertragung der an der Sihl festgestellten Beziehung zwischen Abflusspitze und Algenbewuchsreduktion auf andere Fliessgewässer besondere Beachtung zu schenken.

Der Einbezug der Gegebenheiten vor Ort, der allogischen bzw. biologischen Verhältnisse sowie des Feststofftransports des untersuchten Fliessgewässers ist unumgänglich, um Prognosen zu machen bzw. ein gezieltes Abflussmanagement auszuarbeiten.

Verdankungen

Die Autoren danken Prof. Dr. Dr. h. c. D. Vischer, Direktor der VAW, für die Unterstützung des Projektes sowie dipl. Ing. ETH A. Chervet für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literaturverzeichnis

- Biggs, B. J. F., und Thomson, H. A. (1995): Disturbance of stream periphyton by perturbations in shear stress: Time to structural failure and differences in community resistance. «J. Phycol.» 31 (2): 233–241.
- Elber, F., Hürliemann, 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., Hürliemann, J., und Niederberger, K. (1996): Algenmonitoring als Grundlage für das Abflussmanagement in der Sihl. «wasser, energie, luft», S. 55–59 in dieser Ausgabe.
- Elber, F., Hürliemann, J., und Niederberger, K. (in Vorb.): Einfluss von Hochwassern auf die Algenentwicklung in der Sihl.
- Fehr, R. (1987): Einfache Bestimmung der Korngrössenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse. «Schweizer Ingenieur und Architekt» 38/87: 1104–1109.
- 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.

Adressen der Verfasser: Fredy Elber, Dr. phil. II, Joachim Hürliemann, Dr. phil. II, Clemens Niederberger, dipl. phil. II, AquaPlus, Gewerbestrasse 51a, CH-6314 Unterägeri, und Martin Roth, dipl. Bauing. ETH, Gian Reto Bezzola, dipl. Bauing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, CH-8092 Zürich.