Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 106 (2014)

Heft: 3

Artikel: Repräsentative Stichproben bezüglich Schwebstoffkonzentration : Erfahrungen der Abteilung Hydrologie bei der Probenahme

Autor: Grasso, Alessandro / Bérod, Dominique / Hodel, Hanspeter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939753

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: 02.07.2025

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

Repräsentativität von Stichproben bezüglich Schwebstoffkonzentration

Erfahrungen der Abteilung Hydrologie bei der Probenahme

Alessandro Grasso, Dominique Bérod, Hanspeter Hodel, Adrian Jakob, Petra Lalk, Manfred Spreafico

Zusammenfassung

Die Schwebstoffkonzentration (SSC) in den schweizerischen Fliessgewässern wird seit den 1960er-Jahren durch die Abteilung Hydrologie des Bundesamts für Umwelt (BAFU) gemessen. Das Messnetz wurde zur Überwachung der Erosion, des Feststofftransportes und der Ablagerungen von Sedimenten in Flüssen und Seen aufgebaut. Anhand der SSC-Datenreihen werden die täglichen, monatlichen und jährlichen Schwebstofffrachten geschätzt, statistische Eigenschaften wie jahreszeitliche Verläufe, Langzeittendenzen und Häufigkeitsverteilungen analysiert und die Korrelationen mit den Abflüssen und den Eigenheiten des Einzugsgebiets untersucht. Da die SSC in einem Fliessgewässer nicht gleichmässig verteilt ist, stellt die Repräsentativitätsprüfung der Stichproben in Bezug auf die SSC auf einen Gewässerabschnitt einen wichtigen Aspekt der Qualitätskontrolle des Monitorings dar. Um die Repräsentativität dieser Stichproben zu überprüfen, erstellt die Abteilung regelmässig Konzentrationsprofile für die überwachten Fliessgewässer. Diese Konzentrationsprofile sind ein aussagekräftiges und unerlässliches Instrument zur Qualitäts-/Repräsentativitätsprüfung der Proben.

Résumé

La concentration des sédiments en suspension (SSC) dans les rivières Suisses est mesurée depuis les années 1960 par la division Hydrologie de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Le réseau de surveillance a été mis en place pour surveiller l'érosion, le transport et le dépôt de sédiments dans les rivières et les lacs. Les séries de données de la SSC sont utilisées pour estimer les charges sédimentaires quotidiennes, mensuelles et annuelles; pour analyser les caractéristiques statistiques telles que les tendances saisonnières, les tendances à long terme, la répartition des fréquences; pour étudier la corrélation avec les débits et les caractéristiques des bassins versants, etc. Etant donné que la SSC n'est pas répartie uniformément le long du profil transversal du cours d'eau, le contrôle de la représentativité de l'échantillon par rapport à la SSC du cours d'eau est un élément important du monitorage des sédiments en suspension. Pour vérifier la représentativité des l'échantillonnage, la division exécute régulièrement des profils de concentration des cours d'eau surveillés. Ces profils de concentration sont un outil indispensable pour contrôler la qualité/représentativité des échantillons.

1. Einleitung

Die als Schwebstoffe transportierten Sedimente bestehen aus Feinsand, Schluff und Ton. Diese bilden sich durch die Bodenerosion und werden vom Wind und/oder Wasser transportiert. Der Erosionsprozess ist abhängig von der Morphologie, der Bodenstruktur (Geologie, Mineralogie) und den Regenmengen. Die Intensität des Erosionsprozesses unterliegt örtlich und jahreszeitlich hohen Schwankungen. Neben diesen natürlichen Faktoren begünstigen verschiedene menschliche Aktivitäten wie die Land- und Forstwirtschaft, Baggerungen, Sand- und Kiesentnahmen aus Flüssen, Gewässerregulierungen, Spülungen von Rückhaltebecken usw. die Erosion und den Sedimenttransport in Fliessgewässern.

Schwebstoffe in den Fliessgewässern können u.a. bei Ausuferung auf genutzte Flächen beträchtliche Umweltschäden und damit bedeutende finanzielle Belastungen (*Clark et al.* 1985) verursachen. Auch bei der industriellen Trinkwasseraufbereitung entstehen durch schwebende Sedimente hohe Kosten.

Schwebende Sedimente haben eine Vielzahl von Auswirkungen auf die Gewässer, darunter die Verfrachtung von Schadstoffen, besonders von Spurenelementen (*Tessier,* 1992) und toxischen organischen Substanzen. Bei hohen Konzentrationen von Feinsedimenten in der Wassersäule können manche Wasserlebewesen ersticken oder in der Fortpflanzung behindert werden (*Ventling-Schwank* & *Livingston*, 1994; *Rubin*, 1995, *Henley et al.* 2000). Das die Wassersäule durchdringende, für die Photosynthese erforderliche Sonnenlicht wird durch Schwebstoffe gedämpft (*Kirk,* 1994). Dies führt zu einer Verringerung der photosynthetischen Aktivität und damit der Primärproduktion (durch Photosynthese fixiertes organisches Material) (*Ward* 1992; *Persaud* & *Jaagumagi*, 1995). Die Verringerung der Wassertransparenz hat auch einen wesentlichen Einfluss darauf, wie der Gesundheitszustand eines Gewässers durch Erholungssuchende wahrgenommen wird (*Smith et al.* 1995, b).

Die Schwebstoffkonzentration (SSC) in den schweizerischen Fliessgewässern wird seit den 1960er-Jahren durch die Abteilung Hydrologie des Bundesamts für Umwelt (BAFU) überwacht. Das Messnetz wurde zur Überwachung der Erosion des Feststofftransportes und der Ablagerung von Sedimenten in Flüssen und Seen aufgebaut und betrieben. Anhand der SSC-Datenreihen werden die täglichen, monatlichen und jährlichen Schwebstofffrachten geschätzt, statistische Merkmale wie jahreszeitliche Verläufe, Langzeittendenzen und Häufigkeitsverteilungen analysiert und die Korrelationen mit den Abflüssen und Eigenschaften des Einzugsgebiets untersucht. Im Laufe der Jahre wurde das Monitoring weiterentwickelt und an neue Ziele angepasst (zum Beispiel die Beobachtung der Auswirkun-

gen des Klimawandels). In den 1990er-Jahren begann das BAFU, die Schwebstoff-Messstationen mit Trübungssonden auszurüsten, um kontinuierliche indirekte Beobachtungen der Schwebstoffkonzentration durchführen zu können und um die Schätzungen der von den Fliessgewässern verfrachteten Sedimentvolumina zu verbessern (*Grasso et al.*, 2007). Gegenwärtig umfasst das SSC-Beobachtungsnetz 14 hydrometrische Stationen, wovon 9 mit Trübungsmesssonden ausgestattet sind *(Bild 1)*.

2. Die Schwebstoffkonzentration in den Fliessgewässern

Wegen der ungleichmässigen örtlichen und zeitlichen Verteilung der SSC in den Fliessgewässern ist das SSC-Monitoring ein komplexer Prozess.

Nach *Edward* und *Glysson* (1999) besteht die SSC bei einer Fliessgeschwindigkeit von weniger als 0.6 m/s vor allem aus Schluff und Ton. Die SSC (Schluff und Ton) ist im Profil ziemlich gleichförmig verteilt *(Bild 2a)*. Die Sedimentation von Schluff und Ton erfolgt im Vergleich zur Fliessgeschwindigkeit langsam, weshalb diese Partikel über grosse Distanzen verfrachtet werden. Übersteigt die Fliessgeschwindigkeit 3.7 m/s, sorgt die starke Turbulenz für eine Durchmischung der Schwebepartikel. In diesem Fall kann die Verteilung der SSC (Sand, Schluff und Ton) als gleichförmig betrachtet werden. Die Stichproben können in Ufernähe entnommen werden, wodurch sich die potenziellen Gefahren einer Entnahme bei Hochwasser reduzieren lassen *(Bild 2c)* (*Edward* und *Glysson* 1999). Liegt die Fliessgeschwindigkeit zwischen 0.6 und 3.7 m/s, wird auch Sand mobilisiert und dann als Schwebstoff transportiert. Doch die Verteilung der Sandkonzentration ist nicht gleichförmig. Die SSC nimmt mit der Wassertiefe zu *(Bild 2b)* (Edward und Glysson 1999). Die höchsten SSC findet man in den bodennahen Wasserschichten des Fliessgewässers.

Bild 3 zeigt schematisch die vertikale Verteilung der Fliessgeschwindigkeit, der Schwebstoffkonzentration und der Schwebstoffführung (*Rouse*, 1938, *Vanoni*, 1984). Es besteht eine Korrelation zwischen der Fliessgeschwindigkeit und der Schwebstoffkonzentration. An jedem Punkt der Vertikalen beeinflussen sich die Fliessgeschwindigkeit, die Wasserturbulenz und die Schwebstoffkonzentration wechselseitig. Unter Gleichgewichtsbedingungen ist der vertikale Austausch von Feststoffen zwischen dem Flussbett und

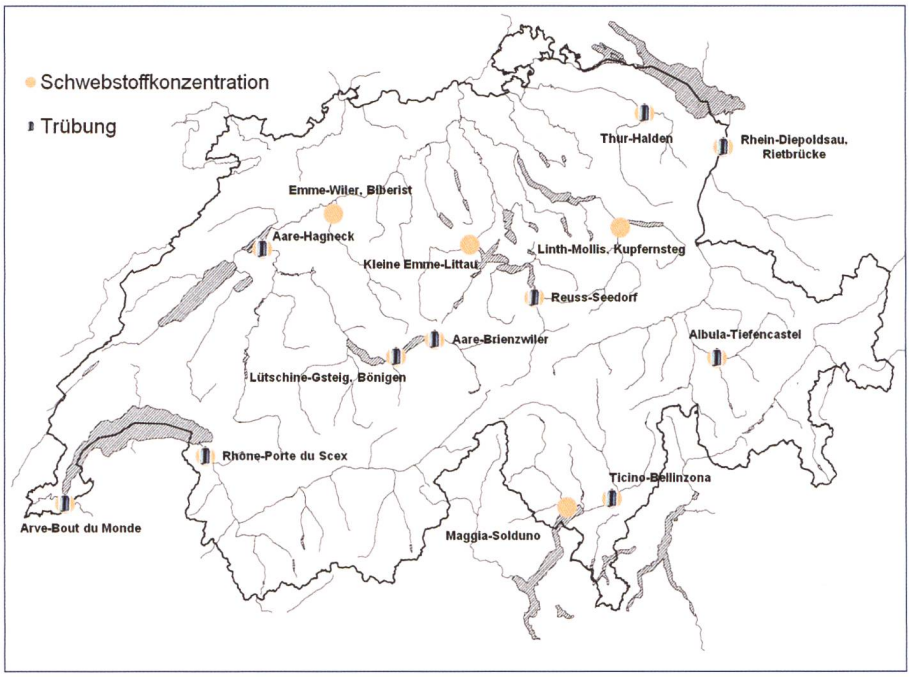


Bild 1. Aktuelles Messnetz des Bundes zur Beobachtung des Schwebstofftransportes.

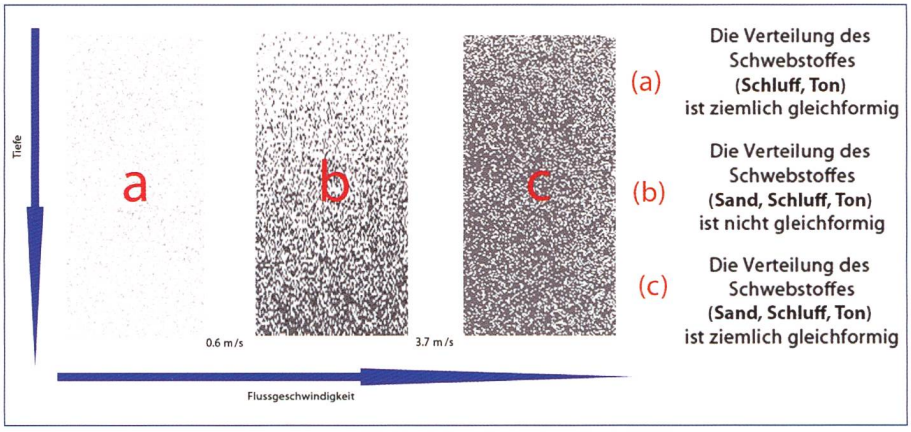


Bild 2. Die Fliessgeschwindigkeit bestimmt weitgehend die Verteilung der SSC in der Wassersäule (Edward und Glysson 1999).

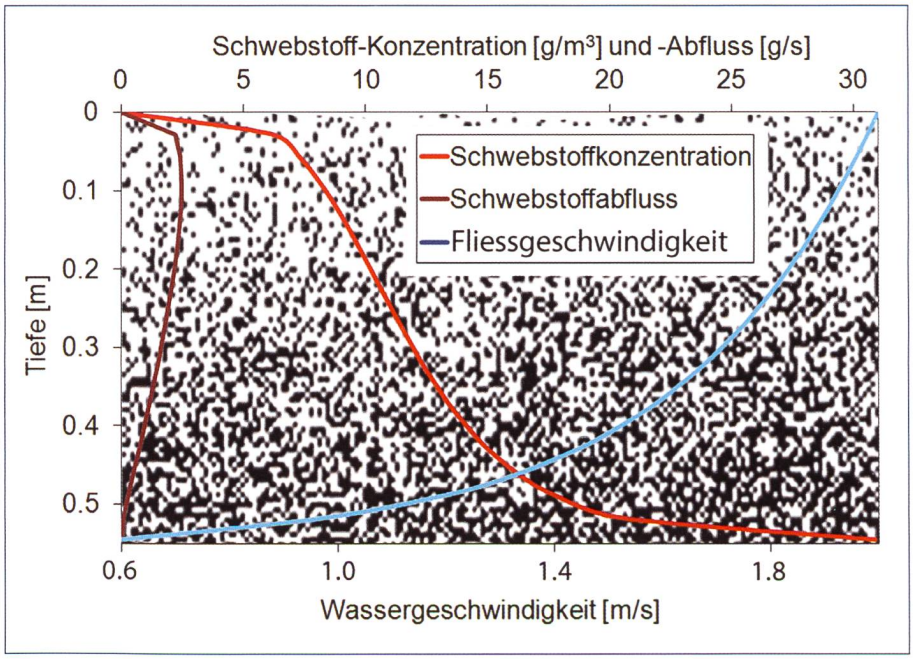


Bild 3. Schema der vertikalen Verteilung der Fliessgeschwindigkeit, der Schwebstoffkonzentration und der Schwebstoffführung. Es besteht eine Korrelation zwischen der Fliessgeschwindigkeit und der Schwebstoffkonzentration (Rouse, 1938, Vanoni, 1984).

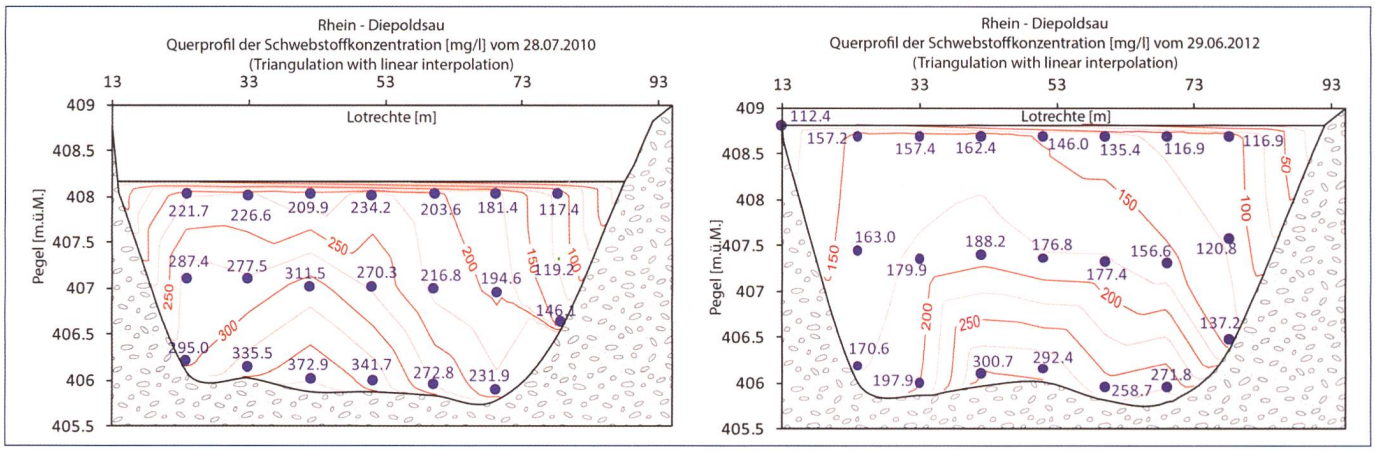


Bild 4. SSC-Profile vom 28.7.2010 und vom 29.6.2012 bei der Messstation Rhein-Diepoldsau. Die Konzentrationen nehmen mit der Wassertiefe zu und gehen an den Rändern des Flussbetts zurück.

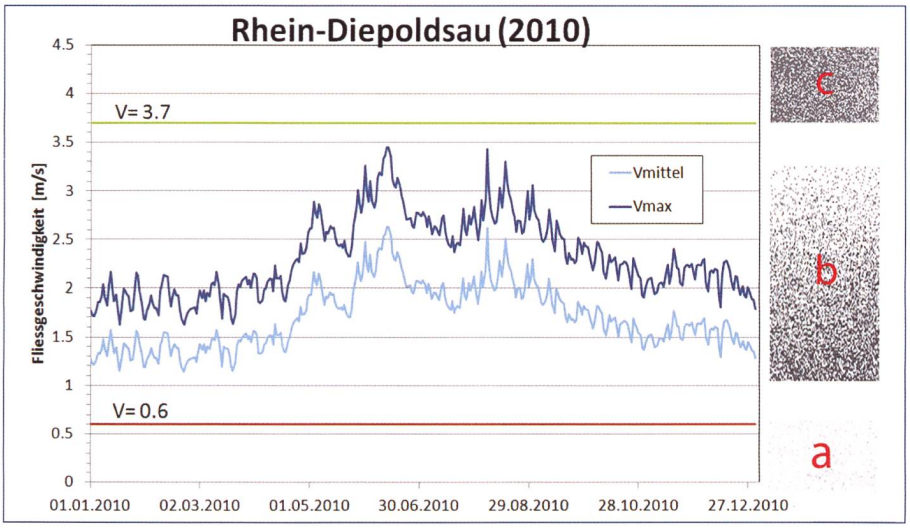


Bild 5. Die Fliessgeschwindigkeit des Rheins bei der Station Diepoldsau, die zwischen 0.6<v<3.7 variiert, lässt keine gleichförmige Verteilung der SSC zu (siehe auch Bild 2).

Bild 6. Schwebstoffproben.

der darüber befindlichen Wassermasse durch den Ausgleich zwischen der Absetzung fester Partikel (Wirkung der Schwerkraft) und der Turbulenz gegeben, welche die Schichten mit höchster Konzentration in der Wassersäule nach oben zieht. Die SSC variiert auch horizontal im Querprofil, wobei die höchsten Konzentrationen in der Regel im mittleren Teil des Fliessgewässers zu finden sind, wo die Fliessgeschwindigkeit am höchsten ist, zu den Ufern hin nehmen sie ab *(Bild 4)*.

3. Beobachtungsnetz der Schwebstoffverfrachtung der Abteilung Hydrologie des BAFU

Der Betrieb des Messnetzes der SSC sieht regelmässige Probeentnahmen der SSC an festen Punkten vor. Eine unerlässliche Bedingung dafür ist, dass die Proben bezüglich der SSC für das Fliessgewässer repräsentativ sind. Wegen der ungleichmässigen Verteilung der SSC im Fliessgewässer besteht ein Risiko, dass die Wasserproben bezüglich der SSC nicht repräsentativ sind. Die Wahl des Standorts der Probeentnahmen wirkt sich enorm auf die Berechnung der verfrachteten Schwebstoffvolumina aus. Eine für die SSC nicht repräsentative Probeentnahme kann zu Fehlern von mehr als 100% bei der Schätzung der Schwebstofffrachten führen (*Grasso et al.* 2012). Die Schwierigkeiten bei der Entnahme von repräsentativen Stichproben für die SSC mehren sich mit Unregelmässigkeiten im Gewässer, wie Hindernisse, Nähe zu seitlichen Sedimenteinträgen (Zuflüsse) usw. In grossen Flüssen wie dem Rhein variiert die Fliessgeschwindigkeit in einem Intervall von 0.6<v<3.7 *(Bild 5)*.

In diesem Fliessgeschwindigkeitsintervall ist die SSC nicht gleichförmig, weshalb es entscheidend ist, den Standort der Entnahme zu definieren, der für die SSC des Fliessgewässers repräsentative Stichproben liefert. Die Entnahme einer grösseren Zahl von Stichproben entlang des Wasserlaufs und in kürzeren Zeitabständen ist mangels Ressourcen und Personal auf lange Sicht finanziell nicht tragbar. Die Abteilung Hydrologie des BAFU überwacht daher die Schwebstoffverfrachtung in den Schweizer Flüssen, indem sie an den hydrometrischen Stationen zweimal wöchentlich Wasserproben *(Bild 6)* entnehmen lässt.

Die zweimal wöchentliche Probeentnahme erfolgt von einer Brücke über dem Fliessgewässer aus oder mit einer Seilkrananlage einer hydrometrischen Station *(Bild 7)*.

Die Abteilung Hydrologie bestimmt den Entnahmepunkt der bezüglich der SSC für das Fliessgewässer repräsentativen Stichproben, indem sie Konzentrationsprofile erstellt.

Die Aufnahme der Schwebstoffkonzentrationsprofile erfolgt von einer Brücke aus oder mit einer Seilkrananlage bei einer hydrometrischen Station *(Bild 8)*.

Anhand der Konzentrationsprofile lassen sich die Messvertikale und die Messtiefe für die bezüglich der SSC repräsentativen Probeentnahmen (*Grasso et al.* 2012) definieren *(Bild 9)*. Die Stichproben werden mit dem von der Abteilung Hyd-

rologie des BAFU entwickelten Schwebstoffsammler entnommen. Der Sammler ist mit einer funkgesteuerten Klappe zum Öffnen und Schliessen der Eintrittsöffnung ausgerüstet. Mit diesem Sammler können Stichproben aus unterschiedlichen Tiefen des Wasserkörpers entnommen werden (*Grasso et al.* 2012).

Der grösste Teil der Schwebstoffe wird bei Hochwasserereignissen transportiert. Die erhöhte Fliessgeschwindigkeit stellt für die Personen, die die Proben entnehmen, eine erhebliche Gefährdung dar. Um die Risiken zu minimieren, erfolgt die Probeentnahme nahe der Wasseroberfläche, in rund 15–20 cm Tiefe. Die Vertikale wird anhand des SSC-Profils gewählt. Im Fall der Messstation Rhein-Diepoldsau werden die Stichproben in der Nähe der Vertikalen 50m entnommen.

In *Bild 10* sind die Ergebnisse der 2012 erstellten Konzentrationsprofile dargestellt. Die Abbildung zeigt die Unter- und Überschätzung der SSC im Fliessgewässer durch die repräsentativste, in einer Tiefe von rund 15–20 cm entnommene Stichprobe und durch die am Ufer des Fliessgewässers entnommene Stichprobe in Prozent. Dabei lässt sich beobachten, dass die Über-/Unterschätzung der SSC bei den repräsentativsten Stichproben um ±5% variiert, während die Unterschätzung der SSC bei am Ufer entnommenen Proben von -18% bis -85% variiert.

Studien an der Donau (A) (*Haimann et al.*, 2012) und im Einzugsgebiet des Humber (UK) (*Wass* und *Leeks*, 1999) zeigen, dass die mittlere SSC eines Flusses bis zu 2.5-mal höher sein kann als die SSC am Ufer.

Die Unterschätzung der SSC anhand von am Ufer entnommenen Stichproben ist nicht konstant, sondern hängt von der Fliessgeschwindigkeit und der Wasserturbulenz ab (*Bild 11* links). Die Differenz zwischen der SSC im Fliessgewässer und jener am Ufer ist bei niedrigen Abflussgeschwindigkeiten sehr klein. An der Messstation Aare-Hagneck (13.7.2010, mittlere Abflussgeschwindigkeit 0.8 m/s) beträgt die Unterschätzung der SSC im Fliessgewässer gegenüber den am Ufer entnommenen Stichproben -7%. Mit steigender Fliessgeschwindigkeit nimmt die Differenz zwischen der SSC im Fliessgewässer und jener der am Ufer entnommenen Stichproben zu (*Bild 11* links). An der Messstation Kleine Emme-Littau (2.6.2012, mittlere Abflussgeschwindigkeit 1.9 m/s) beträgt die Unterschätzung der SSC im Fliessgewässer anhand der am Ufer entnommenen Stichproben -86%. Die Differenz zwischen der mittleren SSC des Fliessgewässers und jener von am Ufer entnommenen Stichproben wächst mit steigender Fliessgeschwindigkeit so lange, bis die Turbulenz eine gleichförmigere Schwebstoffverteilung im Wasser zu bewirken vermag. Dann nimmt mit weiter steigender Fliessgeschwindigkeit die Differenz zwischen der SSC im Fliessgewässer und jener der am Ufer entnommenen Stichproben wieder ab (*Bild 11* links). An der Messstation Emme-Wiler (10.10.2012, mittlere Abflussgeschwindigkeit 2.7 m/s) beträgt die Unterschätzung der SSC an-

Bild 7. Zweimal wöchentlich durchgeführte Probeentnahme von einer Brücke aus (links) oder mit einer Seilkrananlage einer hydrometrischen Station (rechts).

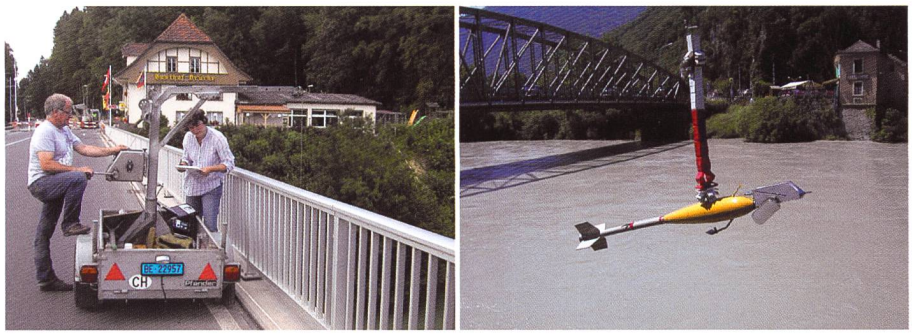


Bild 8. Die Aufnahme der Schwebstoffkonzentrationsprofile erfolgt von einer Brücke aus (links) oder mit einer Seilkrananlage bei einer hydrometrischen Station (rechts).

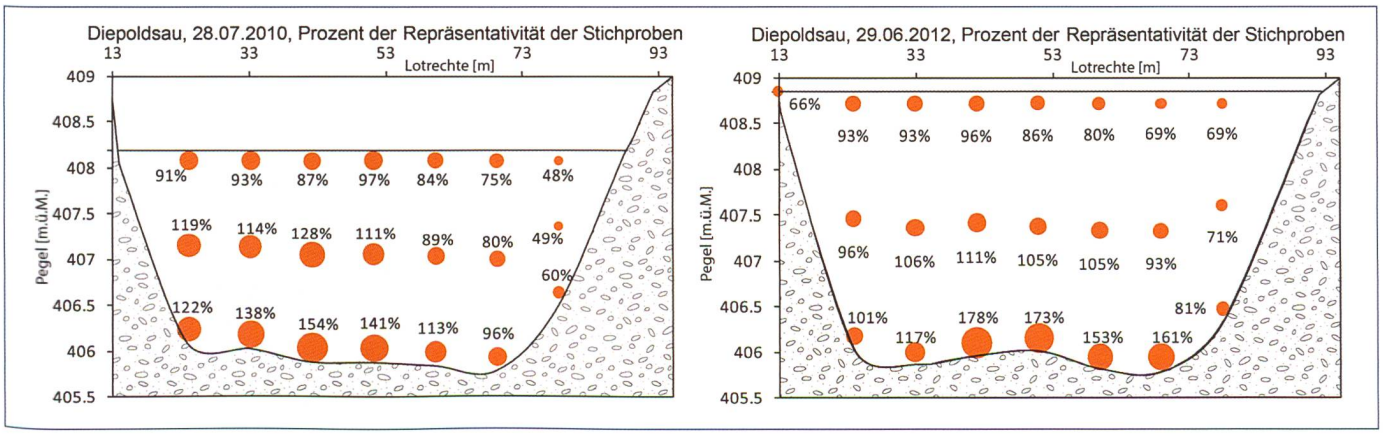


Bild 9. Mit Schwebstoffkonzentrationsprofilen lässt sich die Vertikale für die bezüglich der SSC repräsentativen Probeentnahmen definieren.

hand der am Ufer des Fliessgewässers entnommenen Stichproben -10%.

Die von der Abteilung Hydrologie erstellten SSC-Profile zeigen, dass für die Korrelation zwischen der mittleren SSC im Fliessgewässer und der SSC von am Ufer entnommenen Stichproben zu beachten ist, dass der Abstand der repräsentativen Entnahmestelle für die SSC im Fliessgewässer und der am Ufer gemessenen SSC von der Fliessgeschwindigkeit und folglich von der Wasserturbulenz abhängig ist (siehe Simulation *Bild 11* rechts). In *Haimann et al.* (2012) wird für die meisten österreichischen Schwebstoffmessstellen ein guter statistischer Zusammenhang zwischen sondennaher (am Ufer) und mittlerer Schwebstoffkonzentration im Profil, die jeweils bei unterschiedlichen Fliessgeschwindigkeiten ermittelt wurden, durch eine einfache lineare Regression beschrieben.

Bild 12 zeigt die relativen Positionen (Vertikale der Probenahme/Breite des Fliessgewässers) der Stichproben jener Konzentrationsprofile, die für die SSC im Fliessgewässer am repräsentativsten sind. Die herangezogenen Proben wurden in einer Tiefe von rund 15–20 cm entnommen.

Der Standort der Probenahme der für das SSC-Profil repräsentativsten Stichprobe befindet sich im Bereich der Flussmitte des Fliessgewässers. In Fliessgewässern mit geraden Stromlinien und symmetrischem Flussbettprofil befindet sich der Entnahmepunkt der repräsentativsten Stichprobe nahe der Mitte des Fliessgewässers. Falls das Querprofil nicht symmetrisch ist (z.B. Arve-Bout du Monde, Kleine Emme-Littau) weicht der Entnahmepunkt der repräsentativsten Stichprobe stärker von der Mitte des Fliessgewässers ab.

Änderungen des Bettprofiles *(Bild 13)* verursachen Verschiebungen des Ortes der repräsentativen Stichprobe von einer Vertikalen zu einer anderen angrenzenden (z.B. Aare-Brienzwiler, Reuss-Seedorf, Rhein-Diepoldsau). Im Fliessgewässer mit stabilem Bettprofil sollte permanent in der gleichen Vertikalen gemessen werden.

Das SSC-Profil ist von den Stromlinien, aber auch von der Bettform des Fliessgewässers abhängig und verändert sich entsprechend *(Bild 9)*. Bettform und Stromlinien beeinflussen sich gegenseitig, verändern zusammen das SSC-Profil des Fliessgewässers und folglich den repräsentativsten Probenahmepunkt. Deshalb ist es wichtig, die SSC-Profile periodisch neu zu erstellen.

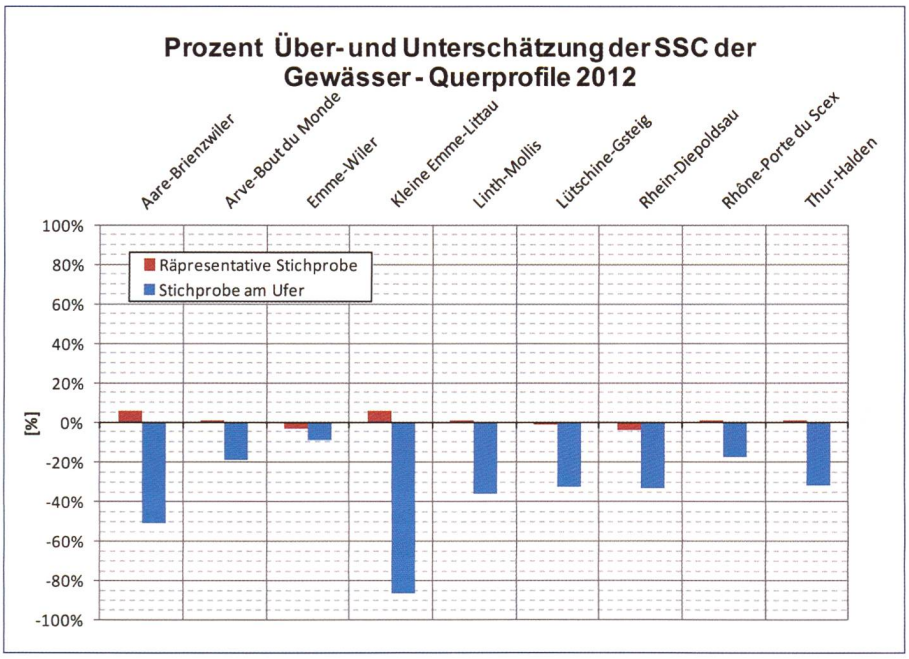


Bild 10. Am Ufer des Fliessgewässers entnommene Stichproben ergeben viel zu niedrige SSC-Schätzwerte. Die Berechnung der mittleren Schwebstoffkonzentration erfolgt aus 21 Messpunkten des SSC-Profils.

4. Fazit

Die grössten Schwebstoffmengen werden bei Hochwasserereignissen transportiert. Die Schwebstoffkonzentration (SSC) ist im Allgemeinen nicht gleichförmig im Was-

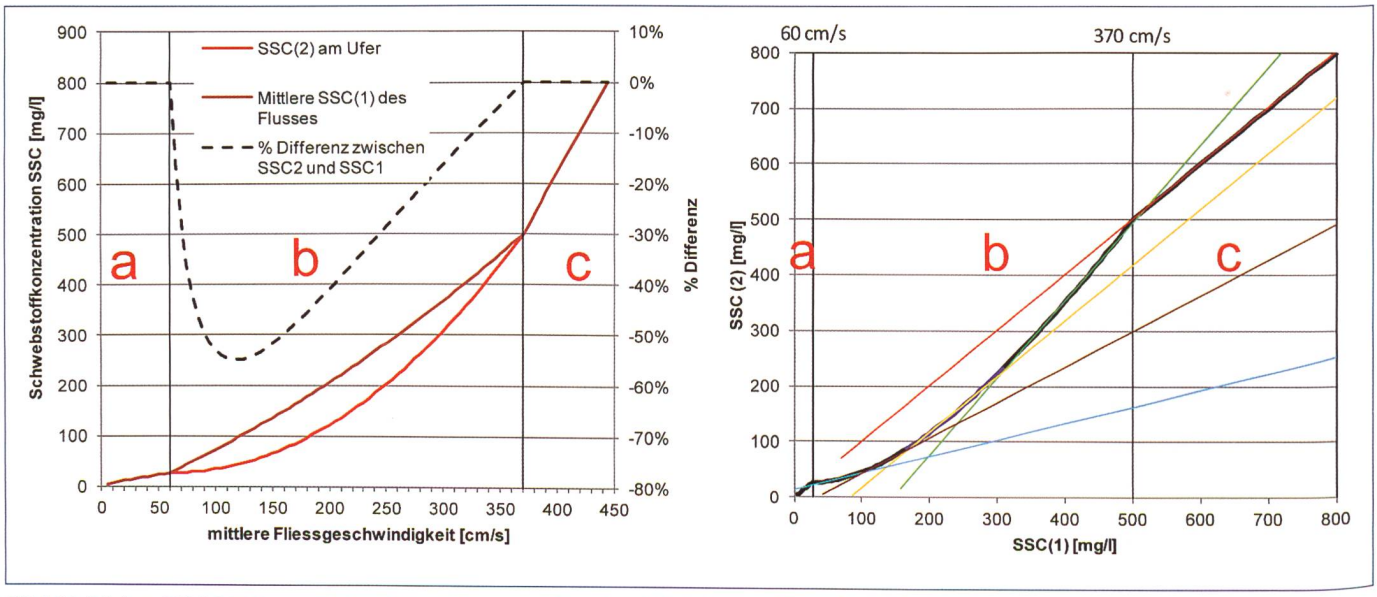


Bild 11.(Linkes Bild) Mathematische Simulation, gemäss dem Model von (Edward und Glysson 1999), des Verlaufes der SSC in Funktion der Zunahme der Fliessgeschwindigkeit. (Rechtes Bild) Die Simulation zeigt, dass man die Fliessgeschwindigkeit berücksichtigen sollte, um eine lineare Korrelation (siehe die verschiedenen farbigen Geraden) zwischen der SSC1 und SSC2 erstellen zu können.

serkörper verteilt. Zur Überwachung der Schwebstoffverfrachtung und Schätzung der Schwebstofffrachten ist der Standort der Probenahme der für die SSC repräsentativsten Stichproben im Fliessgewässer festzulegen. Das Konzentrationsprofil ist ein unerlässliches Instrument zur Bestimmung dieses Standortes und zur Überprüfung der Repräsentativität der Stichproben. Die Erfahrung der Abteilung Hydrologie des BAFU zeigt, dass anhand von lediglich am Ufer des Fliessgewässers entnommenen Stichproben die SSC und folglich auch die Schwebstofffrachten unterschätzt werden.

Das Bett eines Fliessgewässers ist Veränderungen unterworfen. Stromlinien und Wassergeschwindigkeit variieren zeitlich und verändern das Bettprofil und folglich auch die Verteilung der SSC. Es ist daher unerlässlich, regelmässig neue Konzentrationsprofile zu erstellen, um die Repräsentativität der Proben überprüfen zu können.

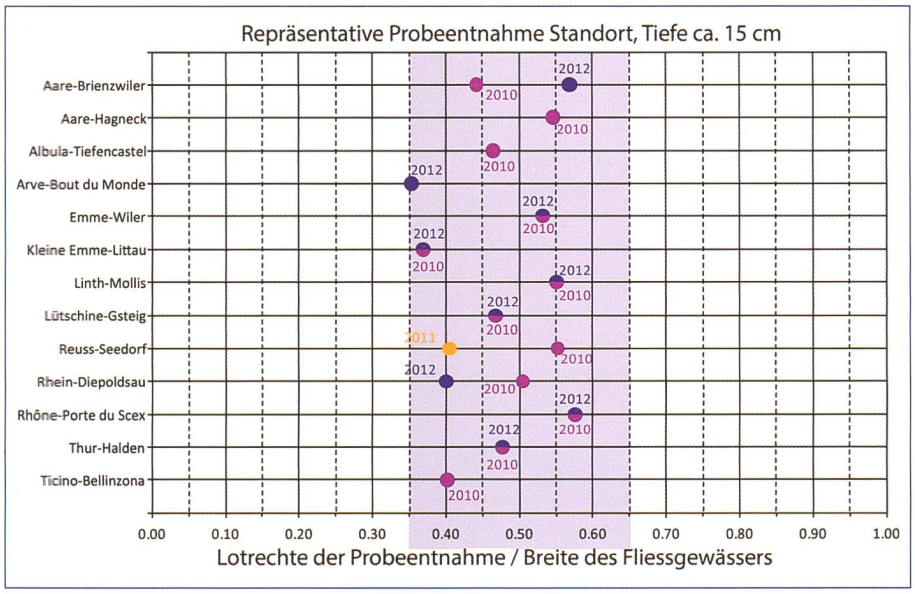


Bild 12. Die für die SSC repräsentativen Stichproben, in einer Tiefe von rund 15–20 cm entnommen, sind im Bereich der Flussmitte angesiedelt. Die Stichproben werden in dieser Tiefe entnommen, um die potenziellen Gefahren einer Entnahme bei Hochwasser zu reduzieren.

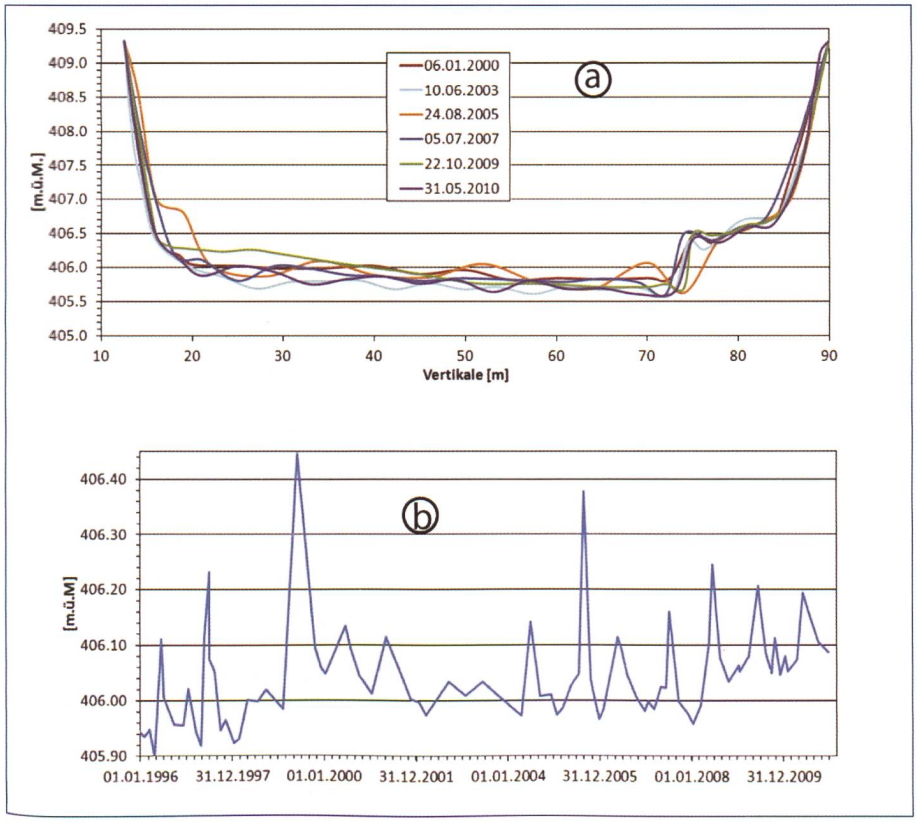


Bild 13. Querprofile (a) und Ganglinie der mittleren Tiefe (b) der Gewässersohle des Rheins bei Diepoldsau.

Danksagung

Unser Dank geht an die Mitarbeitenden des METAS für die Analyse der Schwebstoffkonzentrationen und an die Mitarbeitenden der Sektion Hydrometrie für die Unterstützung bei der Erstellung der Konzentrationsprofile. Ein besonderer Dank geht an Herrn Dipl. Ing. *Clemens Mathis* vom Amt der Vorarlberger Landesregierung für seine Vorschläge und Beobachtungen.

Literatur

Clark, E. H., Haverkamp, J. A., Chapman, W. 1985. Eroding Soils. The Off-Farm Impacts. The Conservation Foundation, Washington D.C., 252 pp.

Edwards, T.K., Glysson, G.D. 1999, Field methods for measurement of fluvial sediment: Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, Book 3, Chapter C2, 89 p.

Haimann, M., Liedermann, M., Naderer, A., Lalk, P., Habersack, H. 2012. Integratives Schwebstoffmonitoringkonzept – Innovative Ansätze auf Basis direkter und indirekter Methoden Österr. Wasser- und Abfallw. (2012) 64:535–543

Henley, W.F., Patterson, M.A., Neves, R. J., Lemly, A.D. 2000. Effects of Sedimentation and Turbidity on Lotic Food Webs: A Concise Review for Natural Resource Managers. Reviews in Fisheries Science 8:125–139.

Grasso, D.A., Jakob, A., Spreafico, M. 2007. Abschätzung der Schwebstofffrachten mittels zweier Methoden. «Wasser Energie Luft», 11/1: 273–280.

Grasso, D.A., Bérod, D., Hodel, H. 2012. Messung und Analyse der Verteilung von Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil von Fliessgewässern. «Wasser Energie Luft», Heft 1: 61–65.

Kirk, J. T. 0. 1994. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. (Second Edition). Cambridge University Press, New York, New York. 509 pp.

Rouse, H. 1938. Experiments on the mechanics of sediment suspension. Proceeding, 5th International Congress for Applied Mechanics. Vol. 55, 550–555, John Wiley & Sons, New York., Hydrol. Processes, 9, 83–97.

Smith, D.G., Croker, G.F., McFarlane, K. 1995a. Human Perception of Water Appearance. 1. Clarity and Colour for Bathing and Aesthetics. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 29:29–43.

Smith, D.G., Croker, G.F., McFarlane, K. 1995b. Human Perception of Water Appearance. 2. Colour Judgement and the Influence of Perceptual Set on Perceived Water Suitability For Use. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 29:45–50.

Persaud, D., Jaagumagi, R. 1995. Impacts of erosion and sedimentation. p. 5–10. In Guidelines for Evaluating Construction Activities Impacting Water Resources, ISBN 0-7778-3041-8, Ontario Ministry of the Environment and Energy, Toronto, Ontario. 55 p.

Rubin, J.F. 1995. Estimating the success of natural spawing of Salmonids in streams. Journal of Fish Biology, 46: 603–622.

Tessier, A. 1992. Sorption of Trace Elements on Natural Particles in Oxic Environments. In: Environmental Particles, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 425–453.

Vanoni, V.A. 1984. Fifty years of sedimentation, Journal of Hydraulic Engineering. ASCE 110/8. 1021–1057.

Ventling-Schwank, A.R., Livingston, D.M. 1994. Transport and burial as a cause of whitefish (Coregonus spp.) egg mortality in a eutrophic lake. Canadian J. Fisheries and Aquatic Sciences, 51: 1908–1919.

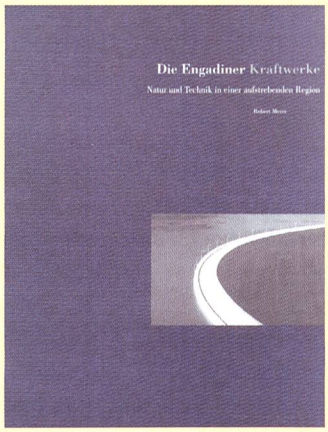
Ward, N. 1992. The problem of sediment in water for fish. Technical Note 21, Northwestern Ontario Boreal Forest Management, Ontario Ministry of Natural Resources, Thunder Bay, Ontario. 8 p.

Wass, P.D., Leeks, G.J.L. (1999). Suspended sediment fluxes in the Humber catchment, UK. Hydrological Processes, Vol. 13, 935–953.

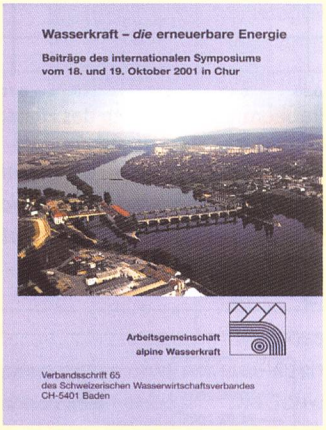
Anschrift der Verfasser
Dr. *Alessandro Grasso*, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie
CH-3063 Ittigen, Tel. +41 31 324 76 69
alessandro.grasso@bafu.admin.ch
Dr. *Dominique Bérod*, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie, CH-3063 Ittigen, Tel. +41 31 324 76 67
dominique.berod@bafu.admin.ch
Dr. *Hanspeter Hodel*, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie, CH-3063 Ittigen, Tel. +41 31 324 76 33
hanspeter.hodel@bafu.admin.ch
Dr. *Adrian Jakob*, Bundesamt für Umwelt BAFU BAFU, Abteilung Hydrologie, CH-3063 Ittigen, Tel. +41 31 324 76 71
adrian.jakob@bafu.admin.ch
DI *Petra Lalk,* Abteilung VII/3, Wasserhaushalt Marxergasse 2, AT-1030 Wien
Tel. +43 1 71100 6935
petra.lalk@bmlfuw.gv.at
Prof. Dr. *Manfred Spreafico*
Geographisches Institut, Universität Bern, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern
manfred.spreafico@hispeed.ch

Bestellen Sie unsere Verbandsschriften direkt unter: www.swv.ch

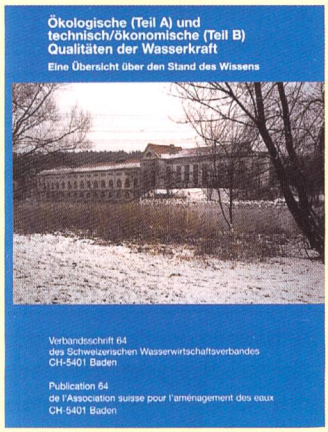
VS: Nr. 67, ***Der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband 1910–2010, ein Portrait,*** von Dr. Walter Hauenstein, 2010, 156 S. Format 17 × 24 cm, ISBN 978-3 85545-155-5, CHF 40.–.



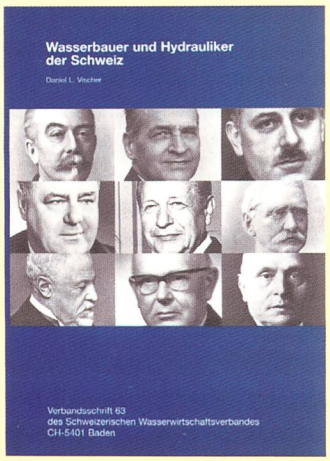
VS: Nr. 66, ***Die Engadiner Kraftwerke – Natur und Technik in einer aufstrebenden Region,*** von Robert Meier, 2003, 207 S., Format 28.5 × 20.5 cm, ISBN 3-85545-129-X, CHF 60.–.



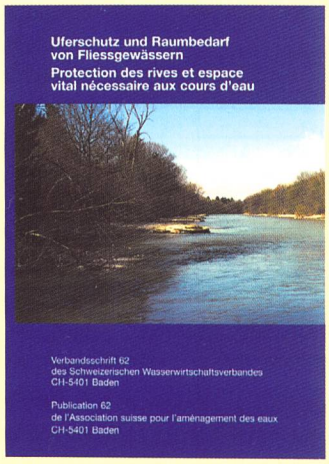
VS: Nr. 65, ***Wasserkraft – die erneuerbare Energie.*** Beiträge des internationalen Symposiums vom 18./19. Okt. 2001 in Chur, CHF 30.–.



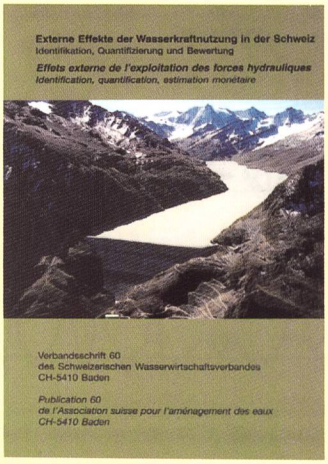
VS: Nr. 64, ***Ökologische (Teil A) und technisch/ökonomische Qualitäten der Wasserkraft.*** ecoconcept Zürich und Schnyder Ingenieure AG, Ottenbach, CHF 40.–.



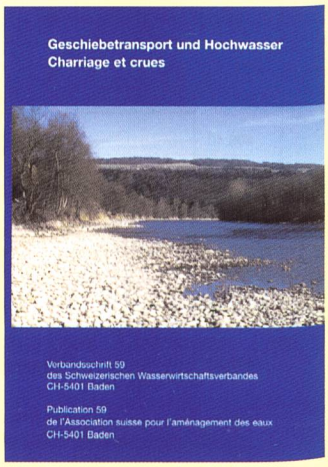
VS: Nr. 63, ***Wasserbauer und Hydrauliker der Schweiz.*** Kurzbiographien ausgewählter Persönlichkeiten, 2001, von Daniel L. Vischer, CHF 50.–.



VS: Nr. 62, ***Uferschutz und Raumbedarf von Fliessgewässern/Protection des rives et espace vital nécessaire aux cours d'eau,*** 2001, Vorträge in Biel, CHF 40.–.



VS: Nr. 60, ***Externe Effekte der Wasserkraftnutzung / Effets externe de l'exploitation des forces hydrauliques,*** 1999, CHF 50.–.



VS: Nr. 59, ***Geschiebetransport und Hochwasser/Charriage et crues,*** Vorträge in Biel, 1998, CHF 50.–.