

Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie
Groupe de travail pour l'hydrologie opérationnelle (GHO)
Gruppo di lavoro per l'idrologia operativa

Mitteilung - Communication - Comunicazione Nr. 2

Feststoffbeobachtung in schweizerischen Gewässern

**Die mengenmässige Erfassung
von Schwebstoffen und Geschiebefrachten**

Erfahrungen und Empfehlungen

Bern 1987

Lose Folge von Veröffentlichungen der GHO
Publications du GHO non numérotées
Pubblicazioni del GHO non numerizzate

- Tätigkeiten des Bundes auf dem Gebiet der operationellen Hydrologie (d/f, 1981)
- Verzeichnis hydrologischer Fachausdrücke mit Begriffserklärung (d/f/i/e, 1982) (Vergriffen)
- Verzeichnis der in der Schweiz durchgeführten Feststoffbeobachtungen, Delta-, Seegrund- und Querprofilaufnahmen (d/f/i, 1983) (Vergriffen)
- Feststoffbeobachtung in schweizerischen Gewässern. Schlussbericht der Arbeitsgruppe für Feststoffbeobachtung (d, 1984) (Vergriffen)

GHO - Mitteilungen - Communications - Comunicazioni GHO

- Mitteilung - Communication - Comunicazione Nr. 1
Die Schneedecke in der Schweiz aus hydrologischer Perspektive.
Bestandesaufnahme und Empfehlungen der Arbeitsgruppe
"Schneedecke und Hydrologie (d, 1985)

Diese Berichte werden vertrieben durch:
Adresse où demander ces rapports:
Questi rapporti possono essere richiesti presso:

Landeshydrologie und -geologie
CH - 3003 Bern

Dok. 4003U

V O R W O R T

Die Kenntnis des Geschiebe- und Schwebstofftransportes in unseren Gewässern bildet eine wesentliche Grundlage für die wirtschaftliche und umweltgerechte Planung, Ausführung und Bewirtschaftung wasserwirtschaftlicher Anlagen, für flussbauliche Massnahmen sowie für viele andere Nutzungszwecke. Bei der Erfassung, Bearbeitung und Analyse von Feststoffdaten bestehen heute in der Schweiz noch wesentliche Lücken. Im Bericht "Feststoffbeobachtung in schweizerischen Gewässern", verfasst durch eine Arbeitsgruppe mit Vertretern aus Forschung und Verwaltung, sind diese Lücken ausführlich beschrieben. Um einige dieser Lücken zu schliessen, beauftragte die interdepartementale Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (GHO) eine Expertengruppe mit der Ausarbeitung von Empfehlungen über die mengenmässige Erfassung von Schwebstoffen und Geschiebefrachten in schweizerischen Gewässern. Die Expertengruppe setzte sich aus den folgenden Herren zusammen:

Dr. M. Spreafico Vorsitzender	Landeshydrologie und -geologie
Prof. J. Bruschin	Laboratoire d'hydraulique, EPFL
Hr. H. Geiger	Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf
Dr. M. Jäggi	Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETHZ
Dr. H. Keller	Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf
Dr. A. Lambert	Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETHZ
Hr. Ch. Lichtschlag	Bundesamt für Wasserwirtschaft
Dr. M. Liskay	Landeshydrologie und -geologie
Hr. A. Parodi Sekretär	Landeshydrologie und -geologie
Hr. J. Zeller	Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf

Die Expertengruppe fand wertvolle Unterstützung insbesondere bei den Wasserbaufachstellen der Kantone Zürich, Bern, Luzern, Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden, St. Gallen, Graubünden, Aargau, Thurgau, Tessin, Waadt, Wallis und Jura.

Im Namen der GHO danke ich allen, die sich an der Ausarbeitung dieses Berichtes mitbeteiligt haben. Die vorliegenden Empfeh-

lungen sollen einen wesentlichen Beitrag zur systematischen und einheitlichen Erfassung von Feststoffdaten in der Schweiz liefern und somit die Vergleichbarkeit dieser Daten sicherstellen

Der Präsident der GHO

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ch. Emmenegger', written in a cursive style.

Dr. Ch. Emmenegger, Chef der
Landeshydrologie und -geologie

A V A N T - P R O P O S

La connaissance du transport solide (charrié et en suspension) dans nos cours d'eau constitue un élément important pour la planification rationnelle et respectueuse de l'environnement des constructions ayant pour but l'utilisation des eaux, pour leur réalisation et leur exploitation. Il en va de même pour les travaux de correction des cours d'eau ainsi que pour d'autres aménagements.

De nombreuses lacunes existent encore en ce qui concerne l'acquisition, le traitement et l'analyse des données relatives au transport de sédiments en Suisse. Ces lacunes sont mises en évidence dans le rapport "Feststoffbeobachtung in schweizerischen Gewässern", rédigé par un groupe de travail comprenant des représentants des universités et de l'administration. Le Groupe interdépartemental pour l'Hydrologie opérationnelle (GHO) a chargé quelques experts d'élaborer des recommandations sur la façon de combler une partie de ces lacunes dans le domaine de la mesure du transport solide dans les cours d'eau suisses.

Ce groupe d'experts était composé de la façon suivante:

M. M. Spreafico, Dr. ès sc. tech. (président)	Service hydrologique et géologique national
M. J. Bruschin, professeur	Laboratoire d'hydraulique, EPFL
M. H. Geiger	Institut fédéral de recherches forestières
M. M. Jäggi, Dr. ès sc. tech.	Laboratoires de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques, EPFZ
M. H. Keller, Dr. ès sc. tech.	Institut fédéral de recherches forestières
M. A. Lambert, Dr. ès sc.	Laboratoires de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques, EPFZ
M. Ch. Lichtschlag	Office fédéral de l'écono- mie des eaux
M. M. Liskay, Dr. ès sc.	Service hydrologique et géologique national
M. A. Parodi (secrétaire)	Service hydrologique et géologique national
M. J. Zeller	Institut fédéral de recherches forestières

Ce groupe a rencontré, au cours de ses travaux, un soutien précieux de la part des services cantonaux spécialisés en travaux hydrauliques de Zurich, Berne, Lucerne, Uri, Schwytz, Obwalden, Nidwalden, St-Gall, Grisons, Argovie, Thurgovie, Tessin, Vaud, Valais et Jura.

Au nom du GHO, je tiens à remercier tous ceux qui ont apporté leur collaboration au présent ouvrage. Les recommandations qu'il contient devraient conduire à une acquisition plus systématique et homogène des données sur le transport solide dans les cours d'eau suisses, et donc à assurer que les données soient comparables entre elles.

Le président du GHO



Dr. Ch. Emmenegger, chef du
Service hydrologique et
géologique national

P R E F A Z I O N E

La conoscenza sul fenomeno del trasporto di materiale solido fluviale (materiale in sospensione e di fondo), costituisce una base fondamentale per una pianificazione che tenga conto delle esigenze economiche e ambientalistiche, per la realizzazione e la gestione di opere idrauliche, per interventi di ingegneria fluviale e per molteplici altri scopi.

Riguardo la raccolta, l'elaborazione e l'analisi dei dati del materiale solido, sussistono in Svizzera notevoli lacune. Nel rapporto "Feststoffbeobachtung in Schweizerischen Gewässern", elaborato da un gruppo di lavoro, nell'ambito del quale hanno dato il loro contributo rappresentanti della ricerca e dell'amministrazione, queste lacune sono esaurientemente esposte. Nell'intento di colmarle, almeno in parte, il Gruppo interdepartimentale di lavoro per l'idrologia operativa (GHO), incaricava degli esperti di elaborare delle raccomandazioni sulla raccolta quantitativa del materiale solido in sospensione e dei carichi di erodibile nei corsi d'acqua svizzeri. Del Gruppo facevano parte:

il dott. M. Spreafico (presidente)	Servizio idrologico e geologico nazionale
prof. J. Bruschin	Laboratorio di idraulica SPFL
sig. H. Geiger	Istituto federale di ricerche fo- restali
dott. M. Jäggi	Laboratori di ricerche idrauliche, idrologiche e glaciologiche, SPFZ
dott. H. Keller	Istituto federale di ricerche fo- restali
dott. A. Lambert	Laboratori di ricerche idrauliche, idrologiche e glaciologiche, SPFZ
sig. Ch. Lichtschlag	Ufficio federale dell'economia dell'acque
dott. M. Liskay	Servizio idrologico e geologico nazionale
sig. A. Parodi (segretario)	Servizio idrologico e geologico nazionale
sig. J. Zeller	Istituto federale di ricerche fo- restali

Il gruppo di esperti si è avvalso, durante tutti i suoi lavori, del prezioso appoggio dei Servizi di ingegneria idraulica dei cantoni di Zurigo, Berna, Lucerna, Uri, Svitto, Obvaldo, Nidvaldo, San Gallo, Grigioni, Argovia, Turgovia, Ticino, Vaud, Vallese e Giura.

A nome del GHO ringrazio tutti coloro che hanno partecipato alla redazione del presente rapporto. Le raccomandazioni in esso contenute dovrebbero contribuire sostanzialmente all'omogeneizzazione e ad una sistematicità nella raccolta dei dati sul fenomeno del trasporto solido in Svizzera, così da rendere possibile, sul piano nazionale, una comparazione di questi dati.

Il presidente del GHO



Dott. Ch. Emmenegger
capo del Servizio idrologico
e geologico nazionale

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG

	Seite
1. EINFÜHRUNG	1
2. PROBLEME IM ZUSAMMENHANG MIT DER FESTSTOFFMESSUNG	4
3. MÖGLICHKEITEN FÜR DIE ERFASSUNG VON FESTSTOFFEN UND IHRE BEURTEILUNG	10
3.1 Erhebung von Schwebstoffen in Bächen und Flüssen	10
3.2 Erhebung von Schwebstoffen in Seen und Stauseen	10
3.3 Erhebung der Geschiebefrachten von Wildbächen	11
3.4 Erhebung von Geschiebefrachten in Flüssen	12
4. EMPFEHLUNGEN FÜR DIE MENGENMÄSSIGE ERFASSUNG VON SCHWEBSTOFFEN	15
4.1. Korngrößen und Herkunftsbereiche der Schwebstoffe	15
4.2. Messgeräte	15
4.2.1 Geräte für die manuelle Entnahme von Wasserproben	16
4.2.2 Geräte für die automatische Entnahme von Wasserproben	17
4.2.3 Weitere Möglichkeiten zur Erfassung der Schwebstoffkonzentration	21

	Seite	
4.3	Messmethodik	22
4.3.1	Messmethoden in Bächen	22
4.3.2	Messmethoden in Flüssen	27
4.3.3	Messmethoden in Seen	28
4.4	Probenanalyse	31
4.4.1	Gravimetrische Analyse mittels Membranfilter	31
4.4.2	Gravimetrische Analyse mittels Filtertüten	33
4.4.3	Zusammensetzung der Schwebstoffe in Flüssen	33
4.5	Auswertung der Messdaten	38
4.5.1	Schwebstoffkonzentration	38
4.5.2	Schwebstofffracht in Flüssen	39
4.5.3	Schwebstoffinhalt von Seen	40
4.6	Interpretation	40
4.7	Darstellung und Speicherung der Messdaten	41
4.8	Ausgesuchte Erfahrungen und Bemerkungen	46
5.	DIE ERHEBUNG VON GESCHIEBEFRACHTEN	48
5.1	Erhebung von Geschiebefrachten in Bächen	48
5.1.1	Messgrößen	48
5.1.2	Wahl des Messstandortes	48
5.1.3	Anforderungen an Einzugsgebiet und Bach	49
5.1.4	Informationen über das Einzugsgebiet und den Bach	50
5.1.5	Messmethoden zur Erfassung der Geschiebefracht	53
5.1.6	Zusätzliche Erhebungen	54

	Seite
5.2 Erhebung von Geschiebefrachten in Flüssen	57
5.2.1 Messgrößen	57
5.2.2 Wahl des Messstandortes und Erfassungsmöglichkeiten	58
5.2.3 Informationen über das Einzugsgebiet und den Flusslauf	59
5.2.4 Messmethodik	60
5.2.5 Zusätzliche Erhebungen	60
5.3 Programm "Geschiebefrachten"	62
5.3.1 Ziele des Programmes	62
5.3.2 Planung des Messnetzes	62
5.3.3 Betrieb des Messnetzes	63
5.3.4 Bearbeitung und Auswertung der Daten	63
5.3.5 Ergänzende Untersuchungen	63

ANHANG

I Technische Beschreibungen von Messgeräten	67
II Begriffserklärungen und Definitionen	77
III Literaturauswahl	87

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Publikation soll einen Beitrag zur einheitlichen Erhebung und Verarbeitung von Feststoffgrössen in der Schweiz liefern. Die Ausführungen sollen mithelfen, heute bestehende erhebliche Kenntnislücken auf dem Gebiet des Feststofftransportes mit möglichst geringem Aufwand zu schliessen.

In einem 1. Teil erfolgt eine Beschreibung des Feststofftransportes und derjenigen Probleme, welche bei der Erfassung von Feststoffdaten auftreten.

Es werden dann Methoden für die Erfassung von Schwebstoffen und Geschiebefrachten in Bächen, Flüssen und Seen vorgestellt.

Im Kapitel 4 werden Messgeräte, Messmethoden, Analyseverfahren, Auswerte- und Interpretationsmethoden für Schwebstoffe detaillierter beschrieben.

Das Kapitel 5 ist der zweckmässigen Erhebung von Geschiebefrachten gewidmet. Ein Erhebungsprogramm der Kantone und der Gruppe für operationelle Hydrologie wird kurz beschrieben.

Technische Beschreibungen von Schwebstoffmessgeräten sind im Anhang I zusammengestellt. Im Anhang II und III finden sich Begriffserklärungen, Definitionen und ausgewählte Literatur.

Prinzipiell sind im Bericht die Erfahrungen der schweizerischen Expertengruppe dargestellt. Wurden bei der Erhebung und Analyse der Feststoffdaten von den Experten in der Vergangenheit verschiedene Methoden angewandt, sind normalerweise diese Verfahren im Bericht dargestellt. Vorausgesetzt wird dabei, dass mit den unterschiedlichen Verfahren vergleichbare Resultate erzielt werden. Ausländische Erkenntnisse sind ebenfalls aufgeführt, soweit sie im Rahmen dieser Arbeit und für schweizerische Verhältnisse als sinnvoll angesehen wurden.

Eine Vielzahl der im Bericht formulierten Empfehlungen können vom Praktiker direkt umgesetzt werden. Die restlichen Empfehlungen und die Erfahrungsberichte sind so aufgebaut, dass dem Leser eine Grundinformation vermittelt wird. Die Informationen, welche der Anwender darüber hinaus benötigt, können bei den beteiligten Institutionen nachgefragt werden.

RESUME

La présente publication devrait contribuer à normaliser les méthodes d'acquisition et de traitement des données sur le transport solide dans les cours d'eau de Suisse ainsi qu'à combler certaines lacunes dans ce domaine, avec un minimum de moyens.

On trouvera dans les premiers chapitres une description du transport solide et des problèmes que pose leur mesure. Suit une présentation des méthodes de mesure des matières en suspension et charriées dans les cours d'eau et les lacs.

Les appareils et les méthodes de mesure et d'analyse, de traitement et de mise en valeur des données concernant les matières en suspension sont décrits au chapitre 4.

Le chapitre 5 est consacré au charriage de fond ainsi qu'à une brève description d'un programme d'étude commun du Groupe de travail pour l'hydrologie opérationnelle et d'un certain nombre de cantons.

Une description détaillée d'appareils pour la mesure des matières en suspension est donnée dans l'annexe I. Dans l'annexe II se trouve une liste des termes les plus usités dans le domaine du transport solide, avec leur définition. L'annexe III est une brève bibliographie.

Le présent rapport est basé sur l'expérience personnelle des experts qui y ont collaboré. S'ils ont dans le passé utilisé plusieurs méthodes pour la détermination et l'analyse des données, ces méthodes sont aussi décrites, dans la mesure où elles donnent des résultats comparables. Quelques procédés appliqués dans d'autres pays ont aussi été retenus lorsqu'ils entraient dans le cadre du présent travail et qu'ils étaient applicables aux conditions propres à la Suisse.

Une grande partie des recommandations formulées ici peut être directement mise en pratique. L'autre servira d'information générale, de même que les rapports relatifs aux expériences déjà effectuées. Les praticiens peuvent s'adresser aux organismes représentés dans le Groupe de travail pour toute information supplémentaire.

SOMMARIO

La presente pubblicazione vuole essere un contributo all'uniformazione della raccolta e della elaborazione dei dati sul trasporto solido fluviale in Svizzera, ed il suo contenuto è inteso a colmare, senza dover far capo a mezzi eccessivi, quelle evidenti lacune nell'ambito del fenomeno del trasporto solido.

Nella prima parte sono esposti i problemi che s'incontrano nell'acquisizione dei dati sul trasporto del materiale solido. Fa seguito la descrizione di diversi metodi per i rilevamenti del materiale solido in sospensione e dei carichi solidi di fondo, in torrenti, fiumi e laghi. Nel capitolo 4 sono presentati apparecchi e metodi di misura, di analisi, di elaborazione e interpretazione dei dati inerenti il materiale in sospensione.

Il capitolo 5 è dedicato al problema dei carichi solidi di fondo, al quale fa seguito una breve descrizione di un programma comune fra il Gruppo di lavoro per l'idrologia operativa e diversi Cantoni per rilevamenti ed elaborazione dei dati riguardanti i carichi solidi di fondo.

La descrizione degli apparecchi per la misura del materiale solido in sospensione figura nell'appendice I. Nell'appendice II sono elencati quei termini idrologici, con le definizioni, che interessano questa branca, e nella III figura una scelta bibliografica. Nel presente rapporto sono soprattutto descritte le esperienze acquisite dagli esperti svizzeri. Se nel passato furono utilizzati, dagli esperti, metodi diversi per la determinazione e le analisi dei dati, questi sono stati in gran parte ripresi nella pubblicazione, premesso tuttavia, indipendentemente dal metodo utilizzato, che i valori ottenuti siano comparabili. Sono pure indicati alcuni procedimenti utilizzati all'estero, qualora questi sono stati ritenuti utili per la pubblicazione e applicabili alle specifiche caratteristiche del paese.

Buona parte delle raccomandazioni contenute nel rapporto possono senz'altro trovare nella pratica una diretta applicazione, altre invece potranno servire quale informazione di base. Informazioni specifiche su questo o l'altro tema, il lettore le potrà ottenere direttamente dall'Ente interessato.

SUMMARY

The aim of the present publication is to contribute to the standardized acquisition and treatment of sediment transport data in Switzerland. The information given should ensure that knowledge gaps in this field are filled as efficiently as possible.

In a first part, basic characteristics of sediment transport and the problems arising during data acquisition are described. Next, methods for sampling suspended and bed-load material in streams, rivers and lakes are presented. Chapter 4 contains a detailed description of the methods and devices for sampling, measuring, analysis, evaluation, and interpretation of suspended load transport. Chapter 5 deals with the adequate recording of bed-load. A program for acquiring this data in different Cantons in collaboration with the GHO is briefly described.

Technical descriptions of samplers for suspended load are given in Annex I. Annexes II and III respectively contain a glossary of main standards and definitions, and a list of selected references.

Essentially this report reflects the experiences of the working group members. Where different methods of data acquisition and processing have been used in the past, they are mentioned in the text; however it is assumed that the results of the different procedures are comparable.

Knowledge from other countries is included in the publication as far as it is applicable to Swiss conditions.

Many of the recommendations can be directly applied in practice. The remainder of the recommendations and the experiences reported should give basic information to the reader; further details can be obtained through the institutions involved.

1. EINFÜHRUNG

Artikel 24bis der Bundesverfassung die Wasserwirtschaft betreffend, erteilt dem Bund eine umfassende Gesetzgebungskompetenz auf dem Gebiete der Beschaffung und Auswertung hydrologischer Daten. In der Botschaft des Bundesrates vom 13. September 1972 wird dazu ausgeführt, dass die zu schaffende Ausführungsgesetzgebung insbesondere die Verpflichtung zum Bau und Betrieb der hydrologischen Netze des Bundes enthalten werde. Die Feststoffbeobachtungen bilden einen Bestandteil dieser zu erfassenden hydrologischen Grunddaten und sind für die optimale Bewirtschaftung und den zweckmässigen Schutz unserer Gewässer von grosser Bedeutung.

Unter dem Einfluss der Verwitterung werden die Festgesteine aufgelockert und zersetzt. Das derart entstandene Lockermaterial wird durch den Oberflächenabfluss und durch Rutschungen den Wasserläufen zugeführt. Wildbäche und Flüsse verfrachten diese Feststoffe weiter talabwärts, wobei Material zeitweise in den Gerinnen abgelagert und wieder erodiert wird.

Unter Feststoffen ist im folgenden die Gesamtheit der festen Stoffe zu verstehen, welche im Wasser transportiert oder abgelagert werden, also Geschiebe, Schwebstoffe, Geschwemmsel (v.a. Holz) und Eis. Der Problemkreis Feststoffe umfasst demnach Erosion, Transport und Ablagerung von Feststoffen in Bächen, Flüssen und Seen. Die gelösten Stoffe sind in dieser Definition nicht enthalten.

Obwohl Untersuchungen über den Feststofftransport bis ins letzte Jahrhundert zurückreichen, ist der komplizierte Mechanismus des Transportes von festen Stoffen - namentlich bei Hochwasser - weitgehend ungeklärt. Erkenntnisse über Vorgänge, welche die Fluss- oder Bettform bestimmen, sind ungenügend. Die Stabilität und Hochwassersicherheit der Gerinne wird aber durch die Feststoffführung entscheidend beeinflusst. Dies gilt in besonde-

rem Masse für die Wildbäche, die extrem grosse Feststoffmengen transportieren und entsprechende Verheerungen verursachen können.

In Seen und Stauräumen wird ein grosser Teil der Feststofffracht abgelagert. Ueber die dabei sich abspielenden Sedimentationsvorgänge ist noch wenig bekannt, obwohl sie bei der Verlandung der Beckenräume von Bedeutung sind.

Für die zunehmenden Bedürfnisse aus den Fachgebieten Gewässerschutz, Naturschutz und Fischerei, die eng mit dem Feststofftransport verbunden sind (Wahl der optimalen Gerinneform, Selbstreinigung, Kolmatierung, Grundwasseranreicherung, Restwasser, Oekologie, usw.), müssen vermehrt Feststoffdaten zur Verfügung gestellt werden.

Wegen der Komplexität der Feststofftransportprozesse werden es - neben theoretischen Untersuchungen und Laborarbeiten - nur zuverlässige Messungen an natürlichen Gewässern erlauben, in Zukunft die Gefährlichkeit von Wildbächen, die Gerinneveränderungen, die Abflusskapazität von Fliessgewässern sowie Verlandungsvorgänge in Seen und Stauhaltungen besser zu beurteilen. Da solche Messreihen aus statistischen Gründen viele Jahre umfassen müssen, sollten bisherige Untersuchungen intensiviert und der Beginn neuer Messreihen nicht hinausgezögert werden. Feststoffbeobachtungen sollen dabei nicht isoliert, sondern immer in Verbindung mit weiteren Untersuchungen (Hydrologie, Meteorologie, Geologie, usw.) durchgeführt werden.

Um die immer noch bestehenden wesentlichen Kenntnislücken zu schliessen, wurde anfangs der achtziger Jahre eine Arbeitsgruppe beauftragt, ein Konzept für zukünftige Feststoffbeobachtungen in der Schweiz auszuarbeiten. Die Arbeitsgruppe erstellte eine Uebersicht über die in der Schweiz bereits durchgeführten Feststoffbeobachtungen (GHO, [17]), stellte die Bedürfnisse an Feststoffbeobachtungen zusammen, listete die Möglichkeiten für die Erfassung der Feststoffe auf, beurteilte dieselben und formulierte Schlussfolgerungen. Die Resultate sind 1984 in einem

Schlussbericht dargestellt (GHO, [18]) und den interessierten Kreisen zur Verfügung gestellt worden.

Unter den kurzfristig zu realisierenden Massnahmen standen für die Arbeitsgruppe u.a. das Erstellen von Empfehlungen für die mengenmässige Erfassung von Schwebstoffen und für die Erhebung von Geschiebefrachten im Vordergrund. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Feststoffbeobachtungen systematisiert und nach einheitlichen Gesichtspunkten durchgeführt werden. Die GHO übernahm diese Idee und beauftragte eine neue Expertengruppe mit der Erarbeitung solcher Empfehlungen. Die Resultate dieser Arbeitsgruppe sind im vorliegenden Bericht dargestellt.

2. PROBLEME IM ZUSAMMENHANG MIT DER FESTSTOFFMESSUNG

Wildbäche sind unberechenbar. Ihr Abflussregime ist gekennzeichnet durch äusserst starke Schwankungen der Abflussmenge. Intensive Gewitter sind häufig die Ursache für Extremabflüsse, wobei der Feststoffanteil sehr hoch sein kann, ja im Extremfalle der Abfluss zum Murgang wird. Da die Art und Grösse extremer Ereignisse nicht ausschliesslich von Vorgängen im Bachgerinne selbst abhängen, sondern das Einzugsgebiet des Baches unmittelbar am Abflussgeschehen beteiligt ist, sind die sich stellenden Probleme oft äusserst komplex.

Bei Bächen mit Gefällen zwischen 10 und 30 % lässt sich die Feststoffführung meist nur noch bei Nieder- und Mittelwasser in einen Geschiebe- und einen Schwebstoffanteil unterteilen. Bei grossen Abflüssen ist eine Trennung nicht mehr möglich. Man fasst deshalb die beiden Teile zusammen und benennt diese Gesamtheit meistens mit "Geschiebe".

Dieses "Geschiebe" stammt nicht mehr nur aus dem Gerinne selbst, sondern wird aus Seitenbächen, Runsen, Lawinenzügen und Hangrutschungen antransportiert. Es handelt sich deshalb mehrheitlich um gerinnefremdes Material. Falls sich zum Beispiel ein Bach stark eintieft, stammt der Hauptteil des Geschiebes aus den nachrutschenden Bacheinhängen. Das bedeutet, dass die Geschiebekornverteilung stark variiert (im Bereich Fuller ähnlich bis wesentlich gröber oder auch bis wesentlich feiner). Diese Variation ist sowohl von Ereignis zu Ereignis als auch während eines einzelnen Ereignisses vorhanden, das heisst die Kornverteilung variiert sowohl zeitlich als auch örtlich. Ausserdem nimmt die maximale Korngrösse mit wachsender Wasserführung meist zu. Bei Katastrophenabflüssen kann das Maximalkorn einige bis einige Dutzend Kubikmeter betragen.

Als Folge von Gerinneabpflästerungen oder weil das Gerinnebett infolge guter Materialfestigkeit (Bodenmechanik) schlecht erodierbar ist, können bei ein und derselben Wasserführung Ge-

schiebemengen transportiert werden, die zeitweise oder auch dauernd wesentlich kleiner sind, als es der Geschiebetransportkapazität entspräche.

Der Geschiebeabfluss erfolgt in Schüben (nichtstationär), einerseits als Folge hydraulische Mechanismen und andererseits als Folge von seitlichen Rutschungen, lokalen Zusammenbrüchen des Gerinnebettes oder kleineren und grösseren Verklausungen.

Der Geschiebetrieb bei mittleren bis grossen Geschiebekonzentrationen kann unter Umständen nicht mehr als rein hydraulisches Phänomen betrachtet werden. So können murgangartige Abflüsse bis zum eigentlichen Erdfliessen mit den üblichen hydraulischen Ansätzen nicht mehr beschrieben werden.

Die Geschiebeführung bei mittleren bis grossen Geschiebekonzentrationen führt zu einer Verminderung der Fliessgeschwindigkeit gegenüber dem Reinwasserabfluss und entsprechend zu einer Vergrösserung des Durchflussquerschnittes bzw. der Wassertiefe. Ausserdem bleibt diese bei Extremabflüssen unter Voraussetzung von Lockermaterialsohlen diese nicht in "Ruhe", sondern sie nimmt bis zu einer gewissen Tiefe am Fliessvorgang teil. Die Unterschiede zum "Reinwasserabfluss" können sehr gross sein.

Da wir bezüglich Kenntnissen über den Geschiebetransport und dessen messtechnischer Erfassung noch in den Anfängen stecken, erscheint es sinnvoll, vorerst nur die elementarsten Grössen der Geschiebeführung zu erfassen. In den Wildbächen ist dies die Geschiebefracht oder korrekter die "Ablagerungsfracht". Für die wasserwirtschaftliche Planung benötigt man vor allem langjährige Durchschnittswerte und Extremwerte der Ablagerung.

Das angestrebte Untersuchungsziel, für die beobachteten Wildbäche u.a. jährlichkeitsabhängige Angaben über die erwartbare Geschiebefracht zu machen, erscheint als Grössenordnungsangabe aus heutiger Sicht erreichbar. Das weitere Ziel, für Bergbäche mit zu wenig oder gar keinen Geschiebefrachtangaben eine entsprechende Schätzung vorzunehmen, ist vorläufig ein Wunsch, ein Fernziel.

Das im Einzugsgebiet abgetragene Feststoffmaterial wird von den Flüssen als Geschiebe, d.h. auf der Sohle rollend, gleitend oder springend, oder als Schwebstoffe verfrachtet. Je nach Strömungsbedingungen und Feststoffzufuhr kann Material im Flussbett abgelagert oder erodiert werden. In schweizerischen Flüssen existiert tendenziell nur ein Austausch zwischen Geschiebe und Sohlenmaterial; die Schwebstoffe werden durch die Flüsse fortbewegt, ohne abgelagert oder an der Sohle angereichert zu werden. Eine Ausnahme bilden Stauhaltungen, wo nicht nur Feinmaterial abgelagert wird, sondern durch stärkere Strömungen dieses wieder aufgewirbelt und in suspendierter Form weiterbefördert werden kann.

Die Geometrie und das Längsgefälle des Gerinnes sowie die Beschaffenheit der Ufer und des Sohlenmaterials bestimmen für einen gegebenen Abfluss den Wasserspiegelverlauf und damit die Abflusskapazität. Gerinnegeometrie und momentaner Abflusszustand definieren das momentane Feststoff-Transportvermögen des Flussgerinnes, d.h. ob Ablagerungen, Gleichgewicht oder Erosion vorherrscht. Da diese Veränderungen der Flusssohle wiederum die Gerinnegeometrie beeinflussen, besteht eine komplexe Wechselwirkung zwischen Abfluss, Gerinneform und Feststoffführung.

Gerinneabpflästerungen sind je nach Wasserführung bei vielen Gerinnen vorhanden, das heisst der Geschiebetrieb erfolgt bis zum Aufreissen der Abpflästerung auf "fester" Sohle. Allerdings ist dieser Geschiebetrieb meist gering.

Die Geschiebekornverteilung folgt gewissen Regeln. Sie lässt sich häufig durch eine Fullerkurve annähern. Auf langen Flussstrecken sind Kornverteilung und Maximalkorn mehr oder weniger konstant, und mit zunehmender Weglänge nimmt die Korngrösse ab ("Abrieb"). Seitenzubringer sorgen für Unregelmässigkeiten.

Je komplexer die Verhältnisse an einem Fluss sind (variable Geometrie, stark unterschiedliche Korngrössen, stark wechselnde Abflüsse), umso schwieriger wird die rechnerische Erfassung des Geschiebetransportes. In vielen praktischen Fällen ist diese

sehr aufwendig und wird deshalb oft nicht durchgeführt. Zudem sind gewisse Phänomene wie die Entmischung des Geschiebematerials noch weitgehend unerforscht und verunmöglichen eine zuverlässige Rechnung. Abweichungen von prismatischen Gerinneformen, welche den Anliegen des Natur- und Landschaftsschutzes gerecht zu werden versuchen, bedeuten eine weitere Komplikation der Rechnung.

Mit der allgemeinen Entwicklung der numerischen Simulationstechniken kann erwartet werden, dass in Zukunft vermehrt Computermodelle zur Verfügung stehen werden, um das Verhalten von Flussgerinnen und die Auswirkung von Einbauten vorauszusagen. Die Entwicklung der heute bereits existierenden Ansätze zu solchen Modellen und die Beurteilung ihrer Qualität bedarf jedoch des Vergleichs mit gemessenen Naturdaten, namentlich betreffend die Geschiebeführung. Solche Messwerte sind jedoch äusserst selten.

Das transportierte Geschiebe sollte an ausgewählten Flussstrecken über mehrere Jahre hinweg erhoben werden, um zuverlässige Vergleiche zu ermöglichen. Anhaltspunkte können zur Zeit nur in Sonderfällen über die Erfassung der Geschiebefrachten gewonnen werden. Das Messnetz für die Abschätzung dieser Geschiebefrachten muss ausgebaut werden.

Die Erfassung von Schwebstofffrachten ist wichtig für die Prognose der Entwicklung von Stauräumen und Seen. Da die Schwebstoffe mengenmässig stärker ins Gewicht fallen als das Geschiebe, sind sie auch als Mass für den Gebietsabtrag im Einzugsgebiet von Bedeutung. Der Gewässerschutz seinerseits interessiert sich für die Schwebstofffrachten, weil diese feinkörnigen Feststoffe kolloidale oder gelöste Inhaltstoffe adsorbieren können und weil sie für die Kolmatierung von Gewässerstrecken verantwortlich sind.

Der weitaus grösste Teil aller Feststoffe wird den Seen durch einmündende Fliessgewässer zugeführt. In sehr untergeordnetem Rahmen können je nach geologischer Situation Feststoffe durch

Felsstürze, Gletscherabbrüche, Ueberrutschungen, Lawinen, Staubniederschlag oder durch menschlichen Einfluss (Aufschüttungen, Deponien) in Seen eingetragen werden.

Geschiebe lagert sich in der Regel unmittelbar nach der Einmündung des Zuflusses ab, was zur Deltabildung führt, bei steilen Seeufern auch zu subaquatischen Bachkegeln. Mit abnehmender Korngrösse nimmt die Sinkgeschwindigkeit der eingetragenen Feststoffpartikel ab, sodass die feinkörnigen Anteile als Schwebstoffe über grössere Distanzen durch seeinterne Strömungen verfrachtet werden können, bevor sie zur Ablagerung gelangen, oder aber über den Seeausfluss diesen wieder verlassen.

Die Ablagerung der eingetragenen Feststoffe bewirkt eine Verminderung des Seevolumens, die letztlich zur Auflandung des Seebeckens führt. In den natürlichen Seen sind vor allem seichte Buchten, Schiffahrtsrinnen, Hafenbecken und Flachwassergürtel durch den Auflandungsvorgang gefährdet.

Eine wesentliche Rolle im Problembereich der Wassergüte spielen die Tonmineralien, welche zu den feinstkörnigen Anteilen (2) der Schwebstoffe gehören. Infolge ihrer grossen aktiven Oberfläche verfügen diese Partikel über hervorragende Adsorptionseigenschaften. Dadurch können unter anderem Düng- und Schadstoffe gebunden werden und dem Wasser durch Sedimentation entzogen werden (Flockungseffekt).

Die See-Ablagerungen gewinnen dann an Bedeutung, wenn Einbauten im See zu planen und zu verwirklichen sind. Neben der Aufzeichnung der Ablagerungsgeschichte (Stratigraphie) müssen dann namentlich bodenmechanische Parameter bestimmt werden.

Eine weitere Bedeutung der stratigraphischen Analyse von Sedimentabfolgen ist die Rekonstruktion des Seezustandes im Lauf der Zeit, was auch Rückschlüsse auf die Entwicklung des Einzugsgebietes ermöglicht.

Im Zusammenhang mit Seen und Stauhaltungen ist die Kenntnis des Feststoffeintrages, der Schwebstoffbilanz, der Feststoffcharakteristika, der Schwebstoffkonzentration und der Sedimentationsraten von Bedeutung.

3. MÖGLICHKEITEN FÜR DIE ERFASSUNG VON FESTSTOFFEN UND IHRE BEURTEILUNG

Im Schlussbericht der Arbeitsgruppe für Feststoffbeobachtung (GHO, [18]) ist ausführlich festgehalten, welche Methoden für die Feststoffbeobachtung heute zur Verfügung stehen. Im folgenden wird deshalb nur auf die Erhebungsmöglichkeiten ausgesuchter Parameter eingegangen.

3.1 Erhebung von Schwebstoffen in Bächen und Flüssen

Für die direkte Messung der Schwebstoffführung in Bächen und Flüssen bieten sich heute keine befriedigenden Lösungen an. Mit der manuellen Probenahme mittels Schöpfgeräten und der Probenahme mit automatischen Geräten stehen aber brauchbare Hilfsmethoden zur Verfügung. Die automatische Entnahme von Wasserproben weist gegenüber der manuellen Methode den Vorteil auf, dass auch kurze Ereignisse mit genügender Probedichte erfasst werden können. Es werden aber sehr unterschiedliche Probenahmegeräte verwendet, was den Vergleich der Messresultate stark erschwert resp. verunmöglicht. Zu den heute noch nicht operationell einsetzbaren Methoden zählen Trübungsmesser und Ultraschallmessgeräte. Eine Methode wird dann als operationell bezeichnet, wenn sie jederzeit nach einer standardisierten Vorschrift durch ausgebildetes Personal angewandt werden kann.

Wenn die Schwebstoffführung bekannt ist, kann die Schwebstofffracht für beliebige Zeiträume bestimmt werden. Die Schwebstofffracht kann überschlägig auch durch die Deltavermessung in Seen und Stauhaltungen ermittelt werden.

3.2 Erhebung von Schwebstoffen in Seen und Stauseen

Eine direkte Erhebung der Schwebstoffbilanz eines Sees ist heute nicht möglich. Der Eintrag und der Austrag müssen in den

Zu- resp. Abflüssen erhoben werden. Die Sedimentationsraten können durch Sedimentfallen, Sedimentpegel, Sedimentprofile und Seegrundaufnahmen direkt bestimmt werden.

Schwebstoffkonzentrationen in Seen können heute im routinemässigen Einsatz bestimmt werden: Mit der optischen Trübungsmessung können relative Aenderungen der Schwebstoffkonzentration rasch und zuverlässig festgehalten werden. Diese Messungen sind durch Analysen von Wasserproben zu ergänzen.

Für die Bestimmung der Schwebstoffcharakteristika (Kornform, Korngrösse, etc.) gibt es operationelle Methoden.

3.3 Erhebung der Geschiebefrachten von Wildbächen

Die Erfahrung mit Geschiebeablagerungsmessungen zeigt, dass in der Regel nur dann akzeptable Messdaten erhalten werden, wenn das Geschiebe in Geschiebesammlern oder in gut definierten Geschiebestau-Rückhalteräumen aufgefangen wird. Auch so ist die erzielbare Genauigkeit der Kubaturaufnahme nur knapp ausreichend. "Unbehinderte" Ablagerungen, zum Beispiel in Form von Bachkegel-Uebermuruungsflächen können lediglich grob erfasst werden. Solche Ablagerungsdaten sind deshalb nur als sehr generelle Grössenordnungsangabe einstuftbar. Der Messaufwand muss klein und die Aufnahmetechnik einfach sein, da die Daten zur Hauptsache von kantonalen Wasserbauämtern zu erheben sind, die vielerorts unter Personalmangel leiden. Folgende Möglichkeiten zur Erfassung der Geschiebefrachten kommen in Frage:

- Bestimmung der Ablagerungskubaturen mit Hilfe von Profilaufnahmen (Vermessung) als komfortable Lösung.
- Approximative Bestimmung der Räumkubaturen durch Zählen der Lastwagenladungen.
- Bestimmung der Räumungskubaturen durch Wägung der Lastwagen (Befahren einer mobilen Wägeschwelle).

- Schätzen von Geschiebeablagerungsflächen und mittlerer Ablagerungsmächtigkeit.

Falls nach einem Schadenereignis das Gebiet in niedriger Flughöhe befliegen wird, kann die Ablagerungskubatur mit Hilfe der Luftbildinterpretation bestimmt werden. Allerdings sollte die vorher vorhanden gewesene Topographie bekannt sein. In solchen Fällen sind auch Uebermurungsflächen ("unbehinderte" Ablagerungen) erfassbar. Um die Geschiebefrachten interpretieren zu können, braucht es zusätzliche Information. Vor allem sollte Kornverteilung, Raumgewicht und spezifisches Gewicht der Ablagerung, evtl. Wassergehalt sowie der Verlauf des Hochwasserereignisses bekannt sein.

3.4 Erhebung der Geschiebefrachten in Flüssen

Ohne dass der Bau von besonderen Messstationen ins Auge gefasst wird, wie dies etwa zur Erfassung der laufenden Geschiebetransportrate (Projekt Fanggraben, s.a. Schlussbericht der Arbeitsgruppe für Feststoffbeobachtung) oder bei kleineren Testeinzugsgebieten (z.B. Messstation Erlentobel im Alptal) aktuell ist, verbleiben für die Erfassung von Geschiebefrachten in Flüssen nur ganz bestimmte Standorte, an denen das anfallende Geschiebe sich ablagert und danach geräumt wird, oder aber die Ablagerung periodisch ausgemessen werden kann und aus der Differenz die Geschiebefracht ermittelt werden kann.

Es können die folgenden Standorte resp. Erfassungsmöglichkeiten unterschieden werden:

- Ausgebaute Geschiebesammler mit regelmässiger Räumung (in Flüssen eher selten, Beispiel Emmemündung)
- Aus flussbaulichen Gründen erforderliche feste Baggerstellen, mit regelmässigem Ausbaggern einer Grube, in der sich alles ankommende Material ablagert (Beispiel Mündung des Rheins in den Bodensee)

- Kommerzielle Baggerstellen mit vollständigem Auffangen des Geschiebes in einer Grube, Baggerung meist durch feste Installationen (Beispiel Maggia bei Avegno)
- Flussabschnitte mit periodischen Baggerungen der gleichen Strecke, aus kommerziellen oder/und flussbaulichen Gründen, mit zeitweiligem, aber nicht permanentem vollständigem Auffangen des Geschiebes (Beispiele Murg, bei Frauenfeld und Reuss bei Amsteg).
- Unregelmässige örtliche Entnahme, meist aus kommerziellen Interessen; Einsatz von mobilen Geräten (Beispiel Reuss bei Erstfeld)
- Ablagerungen in Seen und Stauhaltungen sowie und periodischer Baggerung (Beispiel Thurmündung)
- Ablagerungen in Seen und Stauhaltungen. Erfassung der Veränderungen durch wiederholte Deltavermessungen (Beispiel Reussdelta)

Nebst den potentiellen Standorten müssen auch die möglichen Erhebungsmethoden unterschieden werden. Dabei muss davon ausgegangen werden, dass im Grossen und Ganzen die bereits eingespielten Erfassungsmethoden weiterberücksichtigt werden und lediglich standardisiert, nicht aber durch wesentlich genauere und aufwendigere Methoden ersetzt werden können. Es geht nicht darum, neue Methoden einzuführen, sondern die in Ansätzen bereits vorhandenen Erhebungen allgemein anzuwenden und nach einheitlichen Richtlinien durchzuführen.

Bei kommerzieller Ausbeutung wird die Kubatur meist durch Wägung der Lastwagen, welche den Flusskies abführen, bestimmt. Auch bei Räumung von Geschiebesammlern ist diese Methode gebräuchlich, da die Kubaturen für die Abrechnungen bestimmt werden müssen. Weniger genau ist natürlich eine Erfassung nur über die Anzahl der Lastwagenfahrten, aber auch diese Methode kann bei konsequenter Durchführung immer noch brauchbare Resultate liefern.

In Einzelfällen kann die Ablagerungskubatur durch Unterwasser-
vermessung bestimmt werden. Sofern angenommen werden darf, dass
es sich beim abgelagerten Material effektiv um Flussgeschiebe
und nicht ursprünglich suspendiertes Material handelt, können
solche Messungen auch direkt zur Bestimmung der Geschiebefracht
herangezogen werden. Die Technik und die Problematik solcher
Messungen wurden im Schlussbericht der Arbeitsgruppe unter den
stehenden Gewässern behandelt [18].

4 EMPFEHLUNGEN FÜR DIE MENGENMÄSSIGE ERFASSUNG VON SCHWEBSTOFFEN

4.1 Korngrößen und Herkunftsbereiche der Schwebstoffe

Als Schwebstoffe bezeichnet man definitionsgemäss den durch die Turbulenz in Schweben gehaltenen Feststoffanteil.

Für die Erarbeitung von Grundlagen über den Schwebstofftransport ist es unerlässlich, aus möglichst langen Messreihen Korngrössenspektren des suspendierten Materials zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, dass die Kornverteilung weder örtlich noch zeitlich konstant ist. Aus den langen Messreihen ergibt sich ein statistisch relevantes Bild der in Suspension transportierten Feststoffanteile.

Die verschiedenen Herkunftsbereiche der Schwebstoffe, wie

- Bodenerosion im Einzugsgebiet
- Gerinneerosion
- Einleitungen (Kanalisationen, Kläranlagenabläufe etc.)
- Biologisch-chemische Vorgänge (Ausfällungen)
- Bauliche Arbeiten, Baggerungen, Kieswaschanlagen etc.

lassen erkennen, dass von der Zusammensetzung her mineralische und organische Schwebstoffe zu unterscheiden sind. Die vorliegenden Empfehlungen beschränken sich auf Erhebungsmethoden für die mineralischen Anteile; ihre Eignung für organische Partikel ist für die konkreten Fälle jeweils abzuklären.

4.2 Messgeräte

In diesem Kapitel werden Geräte für die Schwebstoffmessung aufgelistet, welche von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe eingesetzt wurden, sei es operationell oder für spezielle Studien. Zusätzlich wird auf einige Messmethoden hingewiesen, mit wel-

chen die Mitglieder der Arbeitsgruppe selber nicht vertraut sind, die aber nach ihrer Ansicht (gestützt auf Literaturangaben und persönliche Kontakte) erfolgversprechende Ansätze darstellen. Selbstverständlich erhebt diese Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die technischen Beschreibungen der Geräte befinden sich im Anhang.

4.2.1

Geräte für die manuelle Entnahme von Wasserproben

In der Schweiz wurden bisher die folgenden Gerätetypen verwendet:

- a) Entnahmegerät an Leine, 1961, (SGL)
 - b) " an Leine, 1970, (SGLN)
 - c) " an Stange, SGS, M266 D/10
 - d) " an Stange, US-DH 48
 - e) Turbidisonde NEYRPIC, 1960
 - f) Messwagen der LHG, 1967
- (Siehe Anhang I Technische Beschreibung von Messgeräten)

Die langjährigen Erfahrungen der LHG zeigen, dass

- das Entnahmegerät an Stange, SGS M266 D/10 für kleinere schweizerische Gewässer geeignet ist.
- das Entnahmegerät an Leine, 1970 (SGLN) bezüglich Stabilität im Wasser gegenüber dem Modell an der Leine, 1961, (SGL) wesentliche Vorteile aufweist und insbesondere auch für Flüsse mit Fließgeschwindigkeit grösser als 2,5 m/s geeignet ist,
- der Messwagen der LHG, 1967, eine Eigenentwicklung, automatisch integrierende Messungen über die Wassertiefe erlaubt, was mit Sonden anderer Hersteller meist nicht möglich ist. Da die Eintrittsdüse ferngesteuert geöffnet und geschlossen werden kann, können auch separate Einzelproben aus jeder beliebigen Wassertiefe entnommen werden. Eine Brücke ist für den Einsatz des Gerätes Voraussetzung.

Empfehlung: Die Expertengruppe empfiehlt manuelle Probenahmen gesamtschweizerisch mit diesen 3 Gerätetypen durchzuführen.

4.2.2 Geräte für die automatische Entnahme von Wasserproben

Ueber langjährige Erfahrungen verfügt man in der Schweiz mit den folgenden Geräten:

a) ASP 9260 und 9160

b) ISCO 1600

(Siehe Anhang I; Technische Beschreibungen von Messgeräten)

Erfahrungsbericht zu den Geräten ASP 9260 und 9160:

Der Einsatz des Gerätes ASP 9260 beschränkt sich auf Abflussmessstationen der EAFV an kleinen Bächen in den Voralpen des Kantons Schwyz (Alptal). Das wildbachartige Regime erforderte den Einsatz eines Gerätes, welches auch bei stark schwankender Wasserführung zuverlässige Sammelproben entnimmt. Am häufigsten sind Störungen wegen verstopftem Filterkorb oder zugefrorener Ansaugleitung aufgetreten, was mit dem Gerät selber nichts zu tun hat. Seltener haben die Stromversorgung (24V-) sowie Fehlsteuerung während sehr rasch sich ändernden Abflussmengen zu Ausfällen der Probenahme geführt. Solche Situationen sind dann entstanden, wenn die Probenahme in so kleinen Zeitabschnitten vor sich gehen sollte, dass für die Probenahme selber zu wenig Zeit zur Verfügung stand. Dadurch entstanden unterproportionale Sammelproben, deren Analysenergebnisse mit entsprechender Vorsicht interpretiert werden mussten. Diese Fehler konnten in der Zwischenzeit durch technische Eingriffe in das Gerät sowie durch intensive Betreuung weitgehend behoben werden. Ausserdem ist heute dieses Probenahmegerät in einem Kühlschrank montiert, so dass die angesaugten Sammelproben stets kühl (ca 4°C) gelagert sind, bis sie dem Gerät entnommen und der Laboranalyse zugeführt werden. Dieselben Sammelproben werden auch für die chemische Analyse benützt.

Seit 1975 steht ein ähnlicher Gerätetyp, das Entnahmegerät ASP 9160, für die automatische Q-proportionale Probenahme im Rahmen des "Nationalen Programmes für die analytische Daueruntersuchung der schweizerischen Fließgewässer" im Einsatz. Mit diesem Gerät wurden 1978 an der hydrometrischen Station Langeten-Lotzwil vergleichende Untersuchungen durchgeführt. Das Ziel dieser Untersuchungen war die Vergleichbarkeit von Schwebstoffdaten, welche mit dem Gerät ASP 9160 und dem Entnahmegerät an Stange, SGS, M266 D/10, erhoben wurden, zu eruieren.

Die Probenahmen erfolgten in zwei Vertikalen (Kanalmittte und am linksufrigen Kanalrand). Bei jeder Vertikalen wurden während 1 1/2 Stunden 10 Einliterproben mit jedem der beiden Geräte entnommen. Die Messungen wurden bei 4 unterschiedlichen Wasserständen durchgeführt. Die Resultate der Versuche sind im Bild 1 dargestellt. Zwischen den mit beiden Geräten ermittelten Schwebstoffkonzentrationen konnten - mit dem "Differenz-t-Test" - keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Achsenabschnitte und die Steigungen der Regressionsgeraden in den beiden Vertikalen unterscheiden sich nur unwesentlich.

Die maximale Ansaughöhe von ca. 7 m (abhängig von der Meereshöhe) bringt eine wesentliche Einschränkung des Einsatzbereiches mit sich.

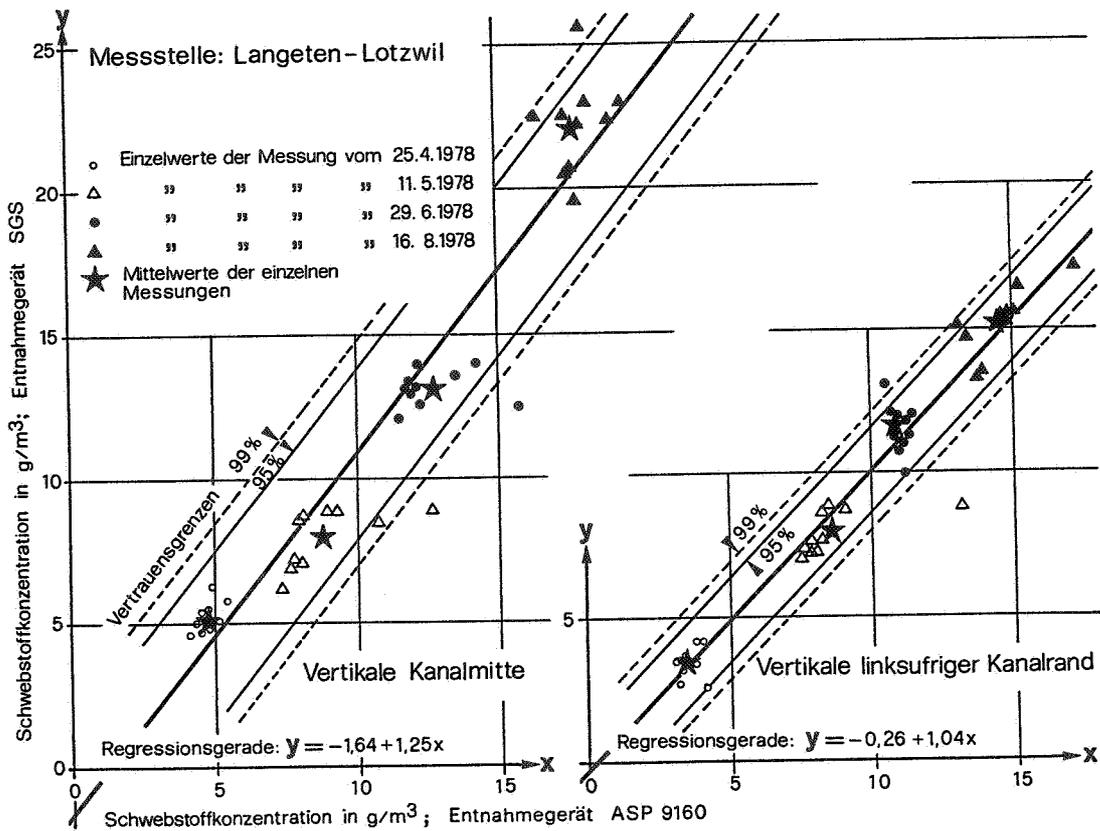


Bild 1: Regressionsgeraden der Beziehungen zwischen den Messungen mit dem automatischen Entnahmegesät ASP 9160 und dem Entnahmegesät an Stange, SGS, M266 D/10

Erfahrungsbericht zum Gesät ISCO 1600:

Das Gesät ISCO 1600 wurde von der VAW bisher im Rahmen verschiedener Forschungsarbeiten eingesetzt:

Im Rahmen der Reusstalforschung ETH waren 2 solche Gesäte von 1979-1982 im Einsatz (Brücke Rottenschwil und Kraftwerk Bremgarten-Zufikon [3] (Bild 2). Seit 1982 wird bei der Messstation Rietholz bach mit einem Gesät gemessen (Bild 3). 1985/86 wurde ein Gesät beim KW Wynau eingesetzt. Die Betriebserfahrungen waren bisher recht gut. Das Gesät bedarf wenig Wartung. Ausfälle waren ausnahmslos auf den elektronischen Teil beschränkt, die Störungen im allgemeinen rasch behoben. Simultane Vergleichs-

messungen mit Vollprofilaufnahmen der Landeshydrologie in der Reuss zeigten zufriedenstellende Uebereinstimmung der Konzentrationswerte, v.a. auch bei hoher Schwebstoffführung.

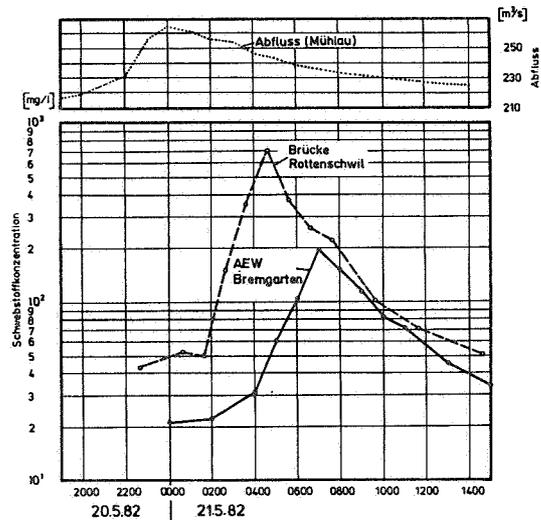


Bild 2: Schwebstoffganglinien in der Reuss bei der Stauhaltung Bremgarten. Zufikon: Vergleich Stauwurzel (Brücke Rottenschwil) und Turbinenwasser (AEW). Distanz etwa 5 km.

SCHWEBSTOFFMESSUNG RIETHOLZBACH
6. APRIL 83

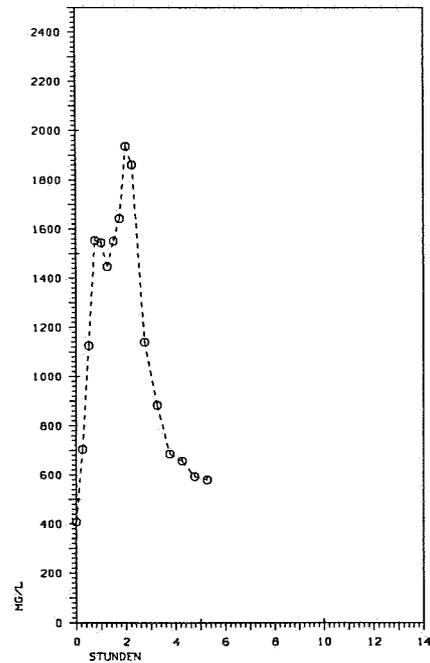


Bild 3: Schwebstoffmessung während eines Hochwassers im Rietholzbach am 6. April 1983. Konzentration in mg/l.

Empfehlung: Die Expertengruppe empfiehlt die obig beschriebenen Gerätetypen für die automatische Probenahme von Schwebstoffen.

4.2.3 Weitere Möglichkeiten zur Erfassung der Schwebstoffkonzentration

Um den Aufwand der Entnahme von Wasserproben und damit verbundene Messfehler zu vermeiden, wird weltweit nach verschiedenen Methoden geforscht, um die Schwebstoffkonzentration direkt zu bestimmen (Trübung, Akkustik, Gammastrahlung etc.). Die Mitglieder der Arbeitsgruppe verfügen in diesem Bereich über wenig Erfahrung. Die in der Literatur vorliegenden Erkenntnisse zeigen, dass diese Methoden oft zu divergierenden Aussagen bezüglich der Korrelation von Messparametern und Konzentration führen. Trotzdem sehen die Mitglieder der Arbeitsgruppe in diesen Methoden einige aussichtsreiche Verfahren für die kontinuierliche Aufzeichnung von schwebstoffabhängigen Messgrößen, zumindest als Ergänzungsmessung und Trendanzeiger. Weitere Forschungen auf diesem Gebiet werden befürwortet. Dazu zwei Beispiele zur Illustration (siehe auch technische Beschreibung im Anhang I).

a) Kontinuierliche Trübungsmessung mit dem Trübungsmesser GTU 702 mit gleichzeitiger Entnahme von Wasserproben zur Konzentrationsbestimmung

Erfahrungsbericht zum Gerät GTU 702:

Nach mehrjährigem Einsatz im Rahmen einer Untersuchung im Einzugsgebiet der Dreisam, Schwarzwald (Forschungsprojekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft) wurden die folgenden Erfahrungen gemacht (Engelsing und Nippes, 1979: Untersuchung zur Schwebstoffführung der Dreisam [4]):

- Die hohe Veränderlichkeit der Konzentrationen in Gebirgsbächen erfordert Geräte mit einem möglichst breiten Messbereich, v.a. für starke Trübungen.

- Durch Einbezug des Korngrössenspektrums bei unterschiedlichen Konzentrationen liessen sich quantifizierbare Beziehungen zwischen Trübungswert und Schwebstoffgehalt finden. Diese gelten nur für die entsprechende Messstelle und sind nicht auf andere Gewässer übertragbar.

b) Kontinuierliche Trübungsmessung und periodische Wasserprobenentnahme im Abfluss einer Staustufe

Im Turbinenauslauf der Lech-Staustufe 1 (Forggensee) der Bayerischen Wasserkraftwerke AG ist eine Photometeranlage installiert. Die Anlage ist seit einigen Jahren in Betrieb und arbeitet weitgehend wartungsfrei (1 mal wöchentlich routinemässige Reinigung der Tauchsonde). Die grosse Zahl von Konzentrationsmessungen ergab eine erstaunlich gute Korrelation zur Trübung. Die Messungen werden weitergeführt. (Mitteilung Dr. H. Engelsing, BAWAG, München).

4.3 Messmethodik

4.3.1 Messmethoden in Bächen

Wildbäche zeichnen sich durch stark schwankende Wasser- und Feststoffführung, häufige Querschnitt- und Richtungsänderungen, stets wechselhafte Turbulenz und stark variable Fliessgeschwindigkeit aus. Für einen fixen Ort im Wildbach gibt es somit keine in Raum und Zeit konstanten hydraulischen Bedingungen. Dieser Umstand erschwert eine zuverlässige Schwebstoffmessung. Dies trifft sowohl für die Abflussmessung wie für die Bestimmung der Schwebstoffkonzentration zu.

Durch Errichtung künstlicher, stabiler Bachstrecken können der Querschnitt und somit auch die hydraulischen Bedingungen einigermaßen konstant gehalten werden. Damit wird erreicht, dass an einem stabilen Querschnitt sowohl der Abfluss wie die Schwebstoffe gemessen werden können. Es müssen aber noch zwei weitere Probleme gelöst werden, um eine repräsentative Schwebstoffmessung sicherzustellen.

1) Welches ist der repräsentative Ort im Querschnitt für die Schwebstoffmessung bzw. Probenahme?

Die Erfahrung hat gezeigt, dass je nach Wasserführung und hydraulischem Zustand des Wildbaches der repräsentative Messort im Querschnitt sich stark und schnell verschieben kann. Eine örtliche konstante Schwebstoffmessung resp. -probenahme genügt deshalb der Forderung nach repräsentativer Messung nicht in allen Situationen.

2) Welche Messmethodik muss angewendet werden, um der stets ändernden Korngrössenzusammensetzung der Schwebstoffe Rechnung zu tragen?

Der maximale Korndurchmesser der Schwebstoffe in Wildbächen ist derart starken Änderungen unterworfen, dass er von wenigen Tausendstel Millimetern bis mehreren Zentimetern schwanken kann. Demnach könnte bestenfalls ein im Fliessquerschnitt über der Bachsohle vertikal angebrachter "Particle counter", der zugleich die Strömungsverhältnisse nicht beeinträchtigt, ein einigermaßen repräsentatives Bild über die Anzahl und die Teilchengrösse der die Messstelle passierenden Schwebstoffe geben. Bis heute sind solche "Supergeräte" nicht entwickelt worden, so dass die Interpretierbarkeit von Schwebstoffmessungen in Wildbächen stark eingeschränkt ist.

Die Schwebstoffmessung in schweizerischen Wildbächen wird heute folgendermassen durchgeführt:

- Es werden in regelmässigen oder unregelmässigen zeitlichen Abständen manuelle Schwebstoffproben direkt dem Wildbachgerinne entnommen. Im Labor werden anschliessend Trockengewicht, selten auch die Korngrössenzusammensetzung ermittelt. Zusammen mit dem an der gleichen Stelle ermittelten Abfluss wird die Schwebstofffracht berechnet.

- Für den Moment der Probenahme ist diese Messung zuverlässig und vermag in vielen Fällen den momentanen Schwebstofftransport zufriedenstellend zu erfassen. Mehrfachproben über den Querschnitt erhöhen dabei die Aussagekraft. Es dürfte allerdings schwer fallen, aus solchen Momentanmessungen auf die Schwebstofffracht über längere Zeitperioden zu schliessen.
- Im Bachquerschnitt wird an stets fixer Stelle der Abfluss kontinuierlich bestimmt, und mittels verschiedener Techniken werden automatisch (zeit- und mengenproportional) Schwebstoffproben entnommen:
 - Ansaugen durch Oeffnen des Ventils zu vorgängig evakuierten Probeflaschen
 - Ansaugen mittels Vakuumpumpe (siehe 5.1.2)
 - Hochpumpen mittels einer an der tiefsten Entnahmestelle installierten Pumpe.

Allen erwähnten Entnahmearten ist gemeinsam, dass je nach Installationsgegebenheiten die maximale Schwebstoffkorngrösse begrenzt ist. Sie ist um so kleiner

- ▶ je grösser der Niveauunterschied zwischen Entnahmeort und Probenehmer (Saughöhe)
- ▶ je kleiner die Zuflussgeschwindigkeit (im Schlauch) zum Probenehmer ist
- ▶ je kleiner der Saugrohrdurchmesser ist.

Dem Vorteil der kontinuierlichen Probenahme mit solchen Geräten steht der Nachteil gegenüber, dass für eine einmal gewählte Installation das maximale Korn vorbestimmt ist und nur in den seltensten Fällen dem grössten Schwebstoffkorn im Wildbach entspricht. Mit solchen Geräten können deshalb nur über einen nach oben beschränkten Korngrössenbereich zuverlässige Messungen gemacht werden. Eine Aussage über die Schwebstoffe gemäss Definition ist aber nicht möglich. Dadurch kann eine Lücke in der Ermittlung der Schwebstoffbilanz entstehen.

Welche der drei weiter oben erwähnten Installationsarten für die kontinuierliche Probenahme gewählt wird, hängt stark von den örtlichen Verhältnissen ab. Gemäss den obigen Ueberlegungen scheint es uns aber wichtig, dass der maximal messbaren Korngrösse der Schwebstoffe gebührend Beachtung geschenkt wird. Sie sollte für jede Messstelle ermittelt und den Messergebnissen beigelegt werden.

Um die Aussagekraft automatischer Schwebstoffmessungen zu erhöhen, ist es angezeigt, die Ergebnisse automatischer Messungen mit gleichzeitig erhobenen manuellen Messungen an gleicher Stelle zu vergleichen. Diese unter verschiedenen Bedingungen durchzuführenden Tests sollen zeigen, ob eine generell gültige Beziehung zwischen manueller und automatischer Probenahme besteht. Im günstigsten Fall ist eine allfällige Korrektur der automatisch gewonnenen Ergebnisse möglich, und die Schätzung von Schwebstoffkonzentration und -frachten darf als einigermaßen repräsentativ gelten.

Erfahrungsbericht

Die Entnahme von Proben zur Bestimmung der Schwebstoffkonzentration an der Messstation Erlentobel im Alptal

Die Messanlage Erlentobel im Alptal besteht aus einer obenliegenden Station, einer Schussrinne, einem Sedimentbecken, sowie einem Messkanal mit V-Ueberfall zur Messung des "Reinwasserabflusses".

An der oberen Messstelle weist das Messprofil eine quer geneigte Sohle auf, einen Ueberfall in das Tosbecken und den Uebergang zur Schussrinne (Bild 4). Im Tosbecken befindet sich ein Filterkorb der einen Teil des abfliessenden Wassers (max. 15 l/s) in den Messschacht der Messhütte leitet. In diesem Schacht werden einerseits kontinuierliche Messungen von Wassertemperatur und elektrischer Leitfähigkeit vorgenommen, anderer-

seits werden Wasserproben entnommen, die sowohl der chemischen Analyse als auch der Bestimmung der Schwebstoffkonzentration dienen. In diesem 3,4 m tiefen Schacht hängt ein mit einem rostfreien Stahldrahtgitter bespannter Filterkorb von 1,2 mm Maschenweite. Das Wasser wird von einem abflussproportionalen Probennehmer ASP 9260 (siehe 4.2.2) angesaugt, welcher durch ein externes Signal des Pegelstandmessers gesteuert wird.

Einmal pro Woche wird ein Teil der Sammelprobe, von der vorher das Volumen bestimmt wurde, in eine 100 ml Weithalsflasche aus Polyäthylen (PE) abgefüllt und der Filterbeutel ausgewechselt. Mit einer Gummifahne wird vorerst das Sediment vom Boden gelöst und unter gleichzeitigem, starkem Mischen mit einem Haushalt-Stabmixer werden je nach Sedimentanteil 10-100 ml der aufgerührten Probe mit einer Pipette aufgezogen und sofort in die Transportflasche transfundiert. Für die spätere Filtration ist es von Vorteil wenn sich nicht mehr als 50 bis 100 mg Feststoffanteil in der Probe befinden.



Bild 4: Gesamtansicht (links), bei Niederwasser und Detail (oben, bei grösserem Abfluss) der oberen Messstation Erlen-tobel im Alptal.

4.3.2 Messmethoden in Flüssen

Wenn das als Schweb transportierte Material innerhalb eines Stromquerschnitts gleichmässig verteilt wäre, könnte die Schwebstoffführung recht einfach bestimmt werden. Dann würde eine einzige Probe, an einem beliebigen Punkt entnommen, die durchschnittliche Schwebstoffkonzentration für den Querschnitt angeben. Die Schwebstoffkonzentration in einem Wasserlauf verändert sich jedoch in der Regel von der Oberfläche zum Grund und von Ufer zu Ufer.

Um die Schwebstoffführung in einem Querschnitt zu bestimmen, müsste man deshalb möglichst viele Proben über das Profil verteilt in verschiedenen Tiefen und erst noch gleichzeitig entnehmen. Der dazu erforderliche enorme Aufwand an Personal, Geräten und Zeit zwingt jedoch zur Reduktion auf wenige Punkte (oder einen einzigen) pro Querschnitt, wenn es sich um Routine-messungen handelt, die möglichst oft durchgeführt werden sollen. Dabei nimmt man Fehler in Kauf, die es durch periodisch wiederholte Probenahme über den gesamten Querschnitt ("Vollprofil-aufnahmen") soweit möglich zu korrigieren gilt.

Erfahrungsbericht

Messmethoden der Landeshydrologie und -geologie

Aufgrund langjähriger Erfahrungen in Flüssen hat sich für die LHG folgendes Vorgehen als zweckmässig erwiesen:

Routinemessungen: In der Regel werden an ausgewählten Stationen 2 mal wöchentlich von einem ortsansässigen Beobachter Einzelproben, meist in Oberflächennähe, mit Hilfe des Entnahmegerätes an Leine, (1970, SGLN) oder des Entnahmegerätes an Stange, SGS, M266 D/10, genommen. Der Einhaltung der Anweisungen durch die Beobachter kommt hinsichtlich der Datenqualität eine grosse Bedeutung zu (siehe Kapitel 4.6).

Kontrollmessungen: Die Routinemessungen werden durch sporadische Kontrollmessungen ergänzt. Bei den Kontrollmessungen wird die Schwebstoffkonzentration in mehreren Vertikalen in einem Querprofil ermittelt. Diese Arbeit wird von speziell instruiertem Personal der LHG mit Hilfe des Messwagens LHG 1967 ausgeführt. In der Regel werden acht Vertikalprofile nach der einfachen oder doppelten Integrationsmethode aufgenommen. Bei der einfachen Integration wird das Probegefäss nach einmaligem, bei der doppelten Integration nach zweimaligem Durchfahren der Wassersäule gefüllt. Die Absenk- bzw. Hebezeit ist abhängig von der Tiefe und von der Fliessgeschwindigkeit im Querprofil. Die maximalen Hebe- und Senkgeschwindigkeiten sollten nicht mehr als $4/10$ der mittleren Fliessgeschwindigkeit betragen, um grosse Winkel zwischen der Düse und der Strömungsrichtung zu verhindern. Die Probenahmen sollen in möglichst kurzer Zeit erfolgen, damit die Bedingungen während der Messung nicht zu stark ändern. Eine unmittelbar anschliessende Wiederholung der Vollprofilaufnahme ist zu empfehlen.

4.3.3 Messmethoden in Seen

Der grösste Teil aller Schwebstoffe wird den Seen durch einmündende Fliessgewässer zugeführt. Nach der Einmündung erfolgt eine nach Korngrösse gestaffelte Fraktionierung und Ablagerung der eingetragenen Partikel. Die feinkörnigeren Anteile werden über grössere Distanzen durch seeinterne Strömungen verfrachtet, bevor sie auf den Grund sinken oder aber den See über den Ausfluss wieder verlassen. Die Erfassung des horizontalen Partikelflusses ist wegen der meist komplexen Strömungsverhältnisse ein schwieriges Unterfangen. Auch teilweise strömungsabhängig aber etwas leichter erfassbar ist der vertikale Partikelfluss ("Sinkstoffe"), welcher letztlich zur Sedimentation und damit zur Verlandung führt, welche v.a. in Stauhaltungen von Bedeutung sein kann. Die Auffangwirkung eines Sees kann durch Bilanzierung der Schwebstofffrachten im Zu- und Abfluss abgeschätzt werden.

a) Probenahme mit Schöpfflaschen

Die "ursprünglichste" und auch einfachste Form der Probenahme ist diejenige mit Schöpfflaschen, welche auf der gewünschten Tiefe verschlossen werden können. Von der klassischen Nansen-Flasche (Kippschöpfer) existiert mittlerweile eine ganze Reihe von Abwandlungen, wobei das Prinzip im wesentlichen gleich geblieben ist. Bei kleinen Konzentrationen werden oft grössere Probenvolumen benötigt und deshalb auch Schöpfflaschen mit grösserem Fassungsvermögen verwendet. Es existieren Systeme, die eine simultane Probenahme in verschiedenen Tiefen im gleichen Profil erlauben: Dabei werden die einzelnen Schöpfflaschen an einem Seil in den gewünschten Abständen fixiert und im See auf Position gebracht (Bild 5). Durch Freigabe eines Fallgewichts vom Boot aus wird die oberste Schöpfflasche im Profil geschlossen und durch den Schliessvorgang ein weiteres, an der obersten Schöpfflasche befestigtes Fallgewicht freigegeben; dieses bewirkt die Schliessung der nächstunteren Flasche und so fort. Diese Kettenreaktion dauert je nach Wassertiefe und Anzahl Entnahmeniveaus maximal wenige Minuten, so dass eine quasi gleichzeitige Entnahme möglich ist. Abgesehen davon kann der Arbeitsvorgang rationeller abgewickelt werden als mit einer einzigen Flasche, welche nacheinander auf alle gewünschten Niveaus gebracht werden muss.

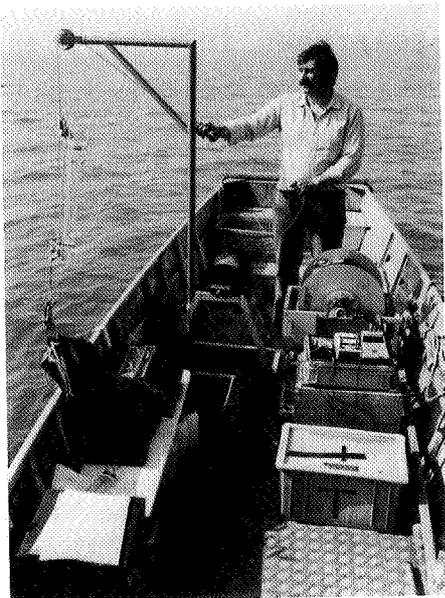


Bild 5: Kippschöpfer zur Entnahme von Wasserproben in verschiedenen Seetiefen. Die Schöpfflasche wird in geöffnetem Zustand in die gewünschte Tiefe gebracht und dort mit einem Fallgewicht verschlossen.

b) Probenahme mit Pumpen

Bei diesem Verfahren wird das Wasser direkt aus der Tiefe an die Oberfläche gepumpt. Hier kann es entweder direkt filtriert oder zentrifugiert werden (Durchlaufzentrifuge). Ein grosser Vorteil dieser Methode liegt darin, dass grosse Probenvolumen an Ort und Stelle schnell verarbeitet werden können. Nachteilig fällt ins Gewicht, dass die Pumpenleistung begrenzt sein kann. Im Genfersee konnten allerdings mit einem mittleren Aggregat Wassertiefen von bis zu 50 m mühelos beprobt werden [11].

Es existieren heute auf dem Markt auch computergesteuerte, vollautomatische Wasserprobensammler, welche vom Schiff aus geführt oder aber auch stationär (in einer Verankerung) eingesetzt werden können. Diese Geräte wurden in erster Linie für die Erfassung von Spurenelementen entwickelt. Diese vielversprechende Entwicklung lässt sich aber auch für die Filtrierung von Schwebstoffen umrüsten.

c) Sedimentfallen

Mit Sedimentfallen können absinkende Feststoffpartikel im Wasser aufgefangen werden. Es ist zwischen integrierenden und zeitauflösenden Systemen zu unterscheiden: Erstere sammeln über die gesamte Expositionszeit den anfallenden Niederschlag. Die Intervall-Sedimentationsfallen ermöglichen während der Expositionszeit die Entnahme verschiedener Einzelproben in wählbaren zeitlichen Abständen. Durch sinnvolle Kombination beider Systeme können Messfehler hinreichend kompensiert werden. Diese Techniken haben sich in vielen Fällen bewährt; sie verlangen aber einen verhältnismässig hohen Aufwand bei der Verankerung im See sowie bei der Bergung.

Grössere Seeströmungen können Messfehler zur Folge haben. Das gleichzeitige Messen von Strömungen ist deshalb zu empfehlen: der Aufwand wird dadurch allerdings nicht kleiner. (Siehe auch Literatur [5], [6], [7], [8], [9], [10]).

d) Trübungsmessung

Die Trübungsmessung - meist durch Aufnahmen vertikaler Profile - hat sich in der Seenforschung insoweit bewährt, als bestimmte Trübungshorizonte damit rasch lokalisiert werden können und ihre räumliche Ausdehnung dadurch einfach abzugrenzen ist. Ueber die Ursache der Trübung sowie über die Konzentration und Zusammensetzung der suspendierten Partikel können Trübungswerte alleine keine zuverlässigen Angaben liefern. Diese Informationen müssen durch Analyse von Wasserproben erworben werden. In einzelnen spezifischen Fällen können mit Hilfe von "Eichkurven", welche aufgrund zahlreicher Analysen erstellt wurden, Trübungswerte auf Konzentrationen umgerechnet werden. Solche Messungen sind jedoch durch Stichproben laufend zu kontrollieren. In der Regel bleibt der Trübungsmessung die Rolle eines schnellen, praktischen Hilfsmittels zur Lokalisierung trüber Zonen vorbehalten, wo dann gezielt Proben entnommen werden können. Unter günstigen Umständen können Trübungswerte dazu verwendet werden, relative Konzentrationsänderungen räumlich abzugrenzen. (Siehe auch Literatur [1], [2], [11], [12])

4.4 Probeanalyse

4.4.1 Gravimetrische Analyse mittels Membranfilter

a) Laborverfahren der LHG (Erfahrungsbericht)

Das Volumen der Proben wird durch Wägung bestimmt. Alle 1-Liter-Flaschen aus Polyäthylen werden vor dem Gebrauch einmal abgewogen, numeriert und gemäss ihrem Gewicht in Gruppen eingeteilt. Die Gewichte der Flaschen der gleichen Gruppe unterscheiden sich weniger als 2 g (Flaschengewicht mit Inhalt). Für jede Gruppe wurde ein Tariergewicht angefertigt.

Für die Filtration der Wasserproben werden Membran-Filtrationsgeräte, Typ SM 16201, Fabrikat Sartorius verwendet, die über eine Verteilbatterie angeschlossen sind. Als Filter werden Mem-

branfilter gewichtskonstant benützt (Typ SM 113 05, 50 cm, mittlerer Porendurchmesser $0,6\mu = 0,0006$ mm, Sartorius Werke AG, Göttingen (BRD)).

Vorerst wird jeder leere Filter gewogen (Mettlerwaage, Ablesung 0,1 mg). Nach der Filtration müssen die Filter mit dem Rückstand gut getrocknet werden. Das geschieht mit einer Wärmelampe Philips, Typ 13345 E/98, 220-230V, 250W. Während 45 Min. Die Filter mit dem Schwebstoff müssen vor dem Wägen abgekühlt werden, sodass diese wieder die Feuchtigkeit der Laborluft aufnehmen können.

Die Schwebstoffkonzentration lässt sich wie folgt berechnen: Differenzbildung der beiden Wägungen (Filter mit und ohne Rückstand). Aus diesem Nettowert dividiert durch das am Anfang bestimmte Probenvolumen, ergibt sich die Konzentration pro Kubikmeter oder pro Liter Reinwasser resp. Feststoff-Wasser-Gemisch. Für jede Messstelle werden die Ergebnisse auf einer Sammeltable nachgetragen (siehe dazu Tabelle 1, Kapitel 4.7).

b) Laborverfahren der EAFV (Erfahrungsbericht)

Der Filterbeutel mit den "groben" Anteilen wird aus dem Polyäthylen-Transportsack genommen und über Nacht bei 60° im Trockenschrank getrocknet. Der Beutel wird noch warm in einen Polyäthylen-Sack gebracht und nach dem Erkalten gewogen.

Der ganze Flascheninhalt mit der Suspension wird in eine "Messbürette" mit weitem Auslauf umgegossen und das Volumen abgelesen. Die EAFV verwendet eine Spezialanfertigung mit Graduation von unten nach oben, mit einem oberen inneren Durchmesser von 17 mm und einem 5 mm Durchmesser am Auslauf. Das Gerät ist über einer Membranfiltriereinheit (z.B. Sartorius, Millipore oder Skan wie sie in der Bakteriologie verwendet werden) schwenkbar montiert, wobei der Auslauf des Filtriersystems durch einen Schlauch mit einer 10-Liter-Vakuumflasche verbunden wurde. Die ungelösten Anteile im Wasser können so problemlos auf den Fil-

ter gebracht werden, wobei Transportflasche, "Messbürette" und die Wandung des Filteraufsatzes gründlich aus- resp. abgespült werden.

Gefiltert wird mit vorgewogenen Paarfiltern von Millipore von 47 mm Durchmesser (AA WP 047 OM 0,8 μm). Die am Rande beschrifteten Filter werden in einer Glas- oder Cr-Ni-Stahlschale eine Stunde lang bei 95°C getrocknet. Ausgewogen wird auf einer Mettler-Waage AE 160, auf 0,1 mg genau. Der untere "saubere" Filter wird vorsichtig vom oberen getrennt. Für diese Operation haben sich Pinzette und Präpariernadel bewährt. Um Fehlern durch statische Aufladung entgegenzuwirken wird der untere Filter auf einem kleinen "Tisch aus Drahtgaze", der sich auf der Waagschale befindet, gelegt. Die Waage wird auf Null tariert und nach dem Austausch der Filter der Nettowert abgelesen. Die Schwebstoffkonzentration berechnet sich aus Nettowert und verwendetem Probevolumen.

4.4.2 Gravimetrische Analyse mittels Filtertüten

Ein einfaches und schnelles Filterverfahren besteht in der Verwendung von Filtertrichtern aus Porzellan mit zugehörigen Filtertüten. Hierbei ist die Filterung je nach Schwebstoffgehalt in 2 bis 30 Minuten beendet und kann ohne Sauganlage unmittelbar an der Messstelle, oder an Bord eines Bootes, sofort vorgenommen werden.

Eine ausführliche Beschreibung dieses Verfahrens befindet sich in "Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen", [13].

4.4.3 Zusammensetzung der Schwebstoffe in Flüssen

Kornverteilung der Schwebstoffe (Bild 6):

Die Körnchen einer Schwebstoffprobe weisen nach ihrer Grösse (Durchmesser) in allen untersuchten Proben angenähert eine dreiparametrische, lognormale Verteilung auf. Diese drei Parameter sind der Wert d_{50} (Median), die Streuung und eine Kon-

stante B. Es ist nämlich nicht $\log(d_1)$ sondern erst $\log(d_1+B)$ normal verteilt ($d_1 =$ Korndurchmesser).

Die Werte d_{50} der Proben mit integrierter Entnahme liegen im Mittel zwischen 43μ und 66μ ($10\mu = 0,01$ mm). Der kleinste angetroffene Wert beträgt 17μ (Rhein-Schmitter) und der grösste ca. 120μ (Arve-Genf, Hochwasser). Grössere Mittelwerte als 120μ sind nur bei fehlerhaften Probennahmen (z.B. Aufschürfen von Bodenmaterial) vorgekommen. Grosse d_{50} -Werte sind im allgemeinen mit hohen Abflüssen verbunden. Die Abhängigkeit der beiden Grössen Abfluss und Mittelwert ist nicht zu übersehen.

Die integriert entnommenen Proben weisen durchschnittlich (1,5 bis 2,5 mal) grössere d_{50} -Werte auf, als die dazugehörigen, gleichzeitig entnommenen Oberflächenproben.

Die Streuung (d.h. die Variationsbreite der Körner um den Wert d_{50}) scheint bei den Oberflächenproben mit der Grösse d_{50} proportional zu sein; mit zunehmendem Wert d_{50} nimmt sie nämlich auch leicht zu. Diese Abhängigkeit ist aber beim untersuchten Probematerial so gering, dass man die Streuung praktisch als Konstante auffassen kann. Sie weist demnach bei Oberflächenproben einen Wert von 2,5 ($\pm 0,8$) auf, was so viel bedeutet, dass 68 % der Körner zwischen den Grenzen von $(d_{50}+B)/2,5$ und $(d_{50} + B)$ liegen dürften.

Beispiel:

$$d_{50} = 50\mu \quad B = 8,6\mu$$

$$d_{16} = 58,6/2,5 = 23\mu \quad d_{84} = 58,6 \times 2,5 = 146\mu$$

Die Streuung für integriert entnommene Proben scheint etwas grösser zu sein; für die Konstante erhält man Werte zwischen 3,3 und 4,0.

Die Grösse des B-Wertes variiert bei den untersuchten Proben zwischen 0 und 30μ ; sie wird weitgehend durch die Grösse des d_{50} -Wertes der Kornverteilung bestimmt ($B = 0.24 d_{50} - 3,4$; in μ).

Mineralogische Zusammensetzung der Schwebstoffe

Wie Röntgenanalysen an 19 Stationen zeigen (vgl. Bild 7; Stationen, die 1969 betrieben wurden), bestehen die Schwebstoffe meistens aus fünf Mineralgruppen:

Quarz (20 - 30 %) ist überall gleichmässig vertreten

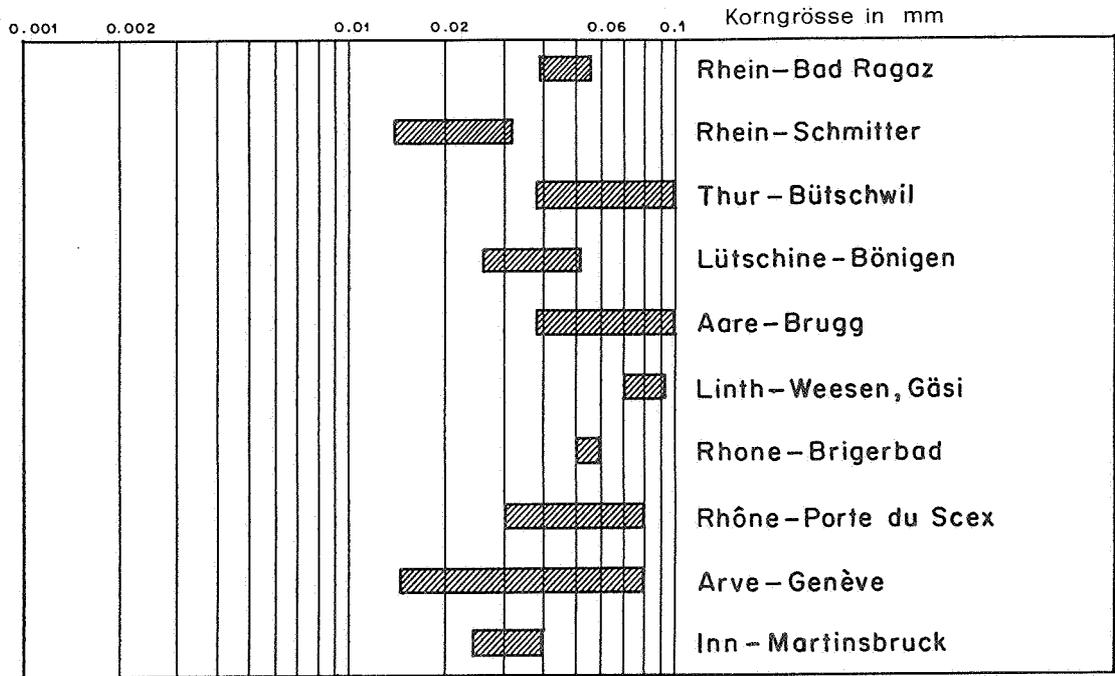
Feldspat (6- 28 %) trifft man zwei bis dreimal häufiger in Flüssen mit kristallinem Einzugsgebiet.

Karbonat (0 - 45 %) ist überall vorhanden, etwas weniger in den Alpen, dafür häufiger im Mittelland.

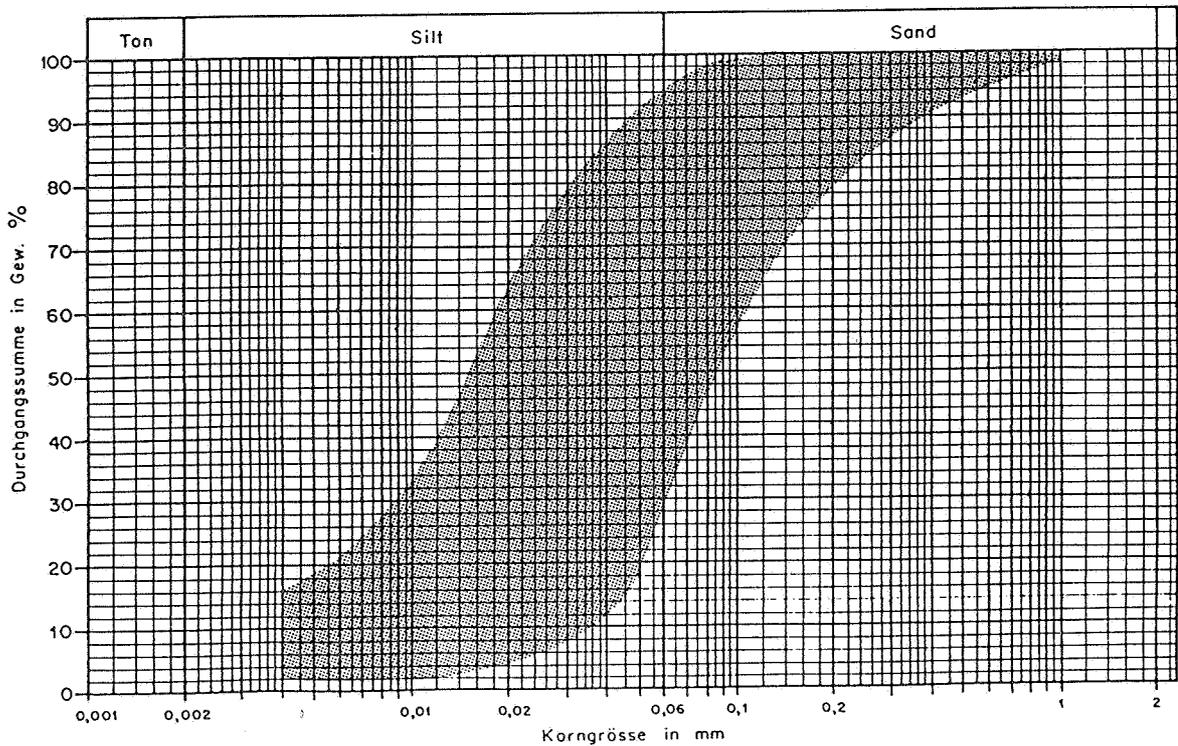
Glimmer (30 - 50 %) ist überall vorhanden, etwas weniger in den Alpen, dafür häufiger im Mittelland.

Tonmine- Kaolinit und Mixed-layer (Montmorillonit etc.)
ralien kennzeichnen die Molasse im Einzugsgebiet.

Siehe auch Literatur [14], [15]



Variationsbreite der Mittelwerte (d_{50}) bei verschiedenen Stationen



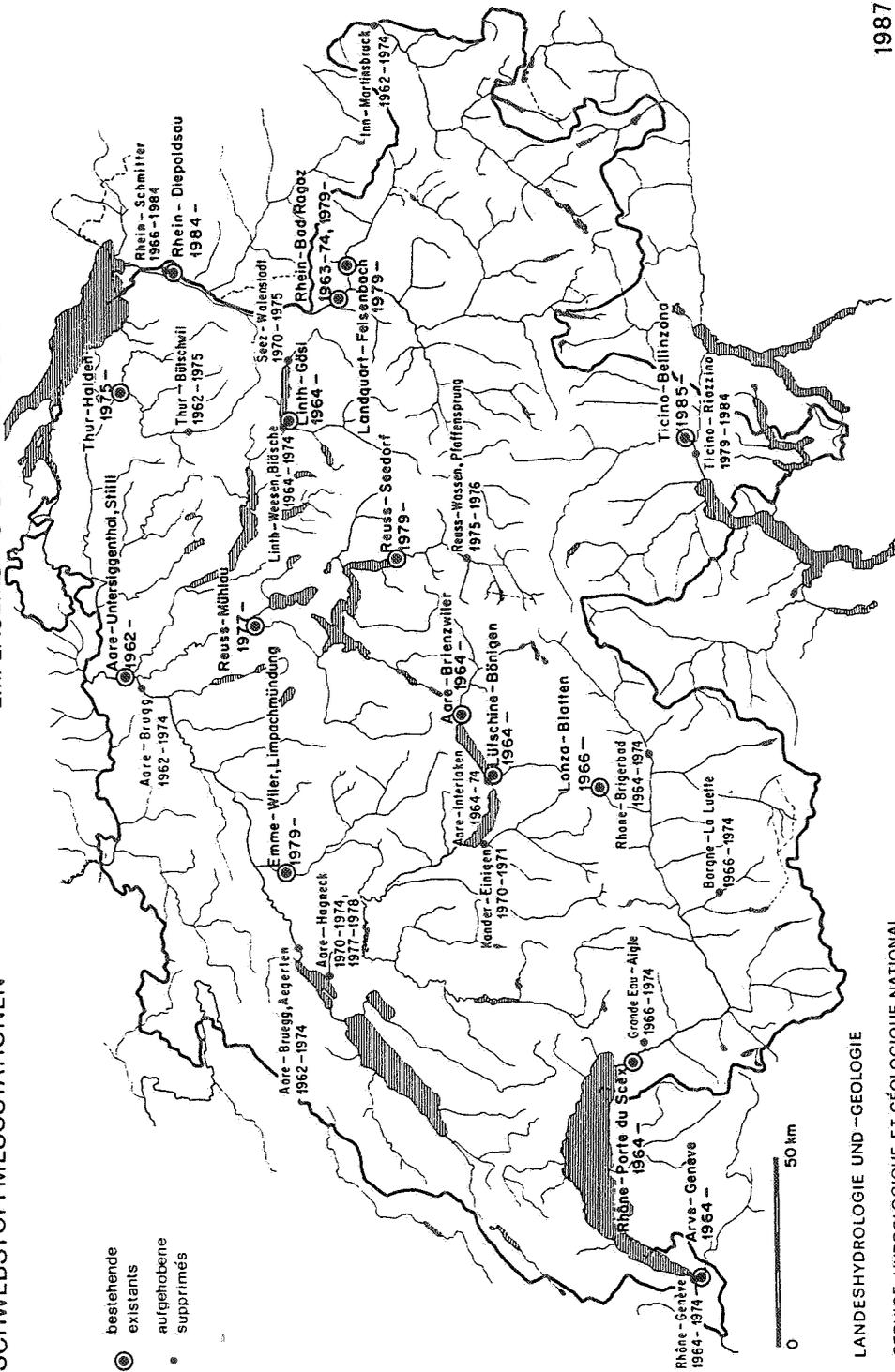
Bereich aller ermittelten Kornverteilungen (Oberflächenproben)

Bild 6: Kornverteilung der Schwebstoffe von 10 ausgewählten Messstationen der LHG.

EMPLACEMENTS DE MESURE DES MATIÈRES EN SUSPENSION

SCHWEBSTOFFMESSSTATIONEN

- ⊙ bestehende existants
- aufgehobene supprimés



LANDESHYDROLOGIE UND -GEOLOGIE
SERVICE HYDROLOGIQUE ET GÉOLOGIQUE NATIONAL

1987

Bild 7: Bestehende und aufgehobene Schwebstoffmessstellen der Landeshydrologie und -geologie

4.5 Auswertung der Messdaten

4.5.1 Schwebstoffkonzentration

Die Schwebstoffkonzentration lässt sich durch direkte Messungen relativ einfach bestimmen (vgl. Kapitel 4.4). Die Messungen mit den manuellen Entnahmegewichten liefern in einem bestimmten Punkt des Messquerschnittes einen quasi momentanen Konzentrationswert. Um laufend die Konzentrationswerte in anderen Punkten des Querschnittes oder um die mittlere Konzentration im Querschnitt zu bestimmen, müssten weitere punktuelle Proben genommen werden. Dies bedingt einen grossen Aufwand an Zeit und Personal. Die LHG suchte deshalb nach Methoden, welche die Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration anhand einer oder weniger Einzelmessungen erlauben. Hierzu führte sie eine grosse Anzahl von Untersuchungen durch, mit den Zielen:

- die momentane Konzentrationsverteilung in einem Flussquerschnitt zu bestimmen
- und die Änderung der Schwebstoffkonzentration in einem Punkt des Querschnittes in Funktion der Zeit zu messen.

Die Auswertung zahlreicher Messungen führte zur Erkenntnis, dass sowohl die Konzentrationsverteilung im Flussquerschnitt als auch die Grösse der Konzentration vom Abfluss (d.h. Pegelstand und Fliessgeschwindigkeit) abhängig ist. Auf Grund der Beobachtungen ist es der LHG auch gelungen, für bestimmte Zeiträume und für einzelne Beobachtungsstellen (Stationen), Beziehungen zwischen Konzentration und Abfluss zu formulieren.

Es ist allerdings nicht bei allen Stationen der LHG möglich, solche "Beziehungen" aufzustellen. Es gibt Stellen wo die Abflüsse künstlich so stark beeinflusst sind, dass keine Gesetzmässigkeiten mehr erkannt werden können. Dies ist meistens der Fall, wenn die Abflussmenge durch Eingriffe so gedrosselt (zurückgehalten oder abgeleitet) wird, dass zwischen Wettergeschehen und Abfluss kaum mehr eine normale Beziehung besteht (z.B.

Winterhalbjahr 1969 Rhein-Bad Ragaz: Abfluss praktisch konstant, d.h. zwischen 50 und 80 m³/s und Konzentrationsschwankungen je nach Witterung zwischen 6 und 3000 g/m³).

4.5.2 Schwebstofffracht in Flüssen

Bei der LHG werden für die Berechnung der Schwebstofffrachten die Messdaten (Schwebstoffkonzentration) herangezogen, die über Jahre an der gleichen Stelle entnommen wurden. Die Entnahmezeit der Proben hat man so festgelegt, dass im gleichen Zeitraum registrierte Abflusswerte in ihrer Grössenordnung in den meisten Fällen dem mittleren Tagesabfluss entsprechen. Diese Messwerte werden anschliessend, zusammen mit Beobachtungen über die Schwebstoffkonzentrationsverteilung im Querschnitt, in mittlere momentane Querschnitt-Konzentrationswerte umgerechnet. Wie spezielle, während 24 Stunden durchgeführte Beobachtungen zeigen, entsprechen diese Mittelwerte an den meisten Tagen des Jahres zufällig auch dem Tagesmittel der Schwebstoffkonzentrationen.

Mit allen aus den Feldbeobachtungen abgeleiteten Schwebstoff-(Tages)-Mittelwerten eines Jahres und mit den dazugehörigen Tagesabflussmitteln werden dann nach gängigen Methoden Korrelationen berechnet (Rémy-Berzencovich [16]); eine für das ruhig fliessende Niederwasser und eine weitere für die Mittel- und Hochwasserbereiche. Diese Gliederung drängt sich wegen der Anordnung des Probennahmepunktes im Messquerschnitt auf.

Mit Hilfe dieser beiden Korrelationen und den aus kontinuierlichen Messungen berechneten Abflussmitteln werden dann für jeden Tag des Jahres Schwebstofffrachten ermittelt und diese auf Monats- und Jahresfrachten aufsummiert. Die geschätzten Tagesfrachten sind Zwischenresultate. Sie dienen nur zur Schätzung der Monats- bzw. Jahresfrachten.

Das heutige Berechnungsverfahren erlaubt es nicht, für eine bestimmte Stunde oder einen Tag die Schwebstofffracht zu ermitteln. Es hat nur zum Ziel, unter Benützung von vielen Einzel-

messungen, Aussagen über grössere Zeiträume für die Frachten zu machen. Aus diesem Grunde ist die angewendete Methode auch unempfindlich für einzelne Fehldaten/Messungen und lässt auch einige aufwandsparende Vereinfachungen (Annahmen) zu.

4.5.3 Schwebstoffinhalt von Seen

Um den Schwebstoffinhalt eines Sees zu bestimmen, muss die Schwebstoffkonzentration in möglichst vielen Vertikalprofilen bestimmt werden (siehe 4.3.3). Daraus kann eine mittlere Konzentration und durch Multiplikation mit dem Seevolumen der momentane Schwebstoffinhalt ermittelt werden.

Der vertikale Partikelflux wird mit Hilfe von Sedimentfallen bestimmt (siehe 4.3.3 c) und zwar als Schwebstoffmenge pro Fläche mal Zeit. Gebräuchlichste Einheit: $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

4.6 Interpretation

Die Bestimmung der Konzentration sowie der granulometrischen und mineralogischen Zusammensetzung von Schwebstoffen in Einzelproben von Fliessgewässern ist prinzipiell nicht mit grösseren Fehlern behaftet, als andere in situ-Messungen (Chemismus, Abflussgeschwindigkeit, Temperatur etc.). Demgegenüber stehen aber der Ermittlung der Schwebstoffführung bzw. der Schwebstofffracht (aus den Einzelmessungen) hauptsächlich zwei Hindernisse im Weg, welche die Resultate mit grösseren Fehlern belasten können:

1. Die ausserordentlich grosse räumlich-zeitliche Veränderlichkeit des Schwebstofftransports infolge seiner unterschiedlichen Ursachen (Niederschlag, Geologie des Einzugsgebietes und des Gerinnebetts; wobei letzteres sowohl Quelle als auch zeitweiliger Sedimentationsraum von Schwebstoffen sein kann).
2. Die Diskrepanz zwischen Zielsetzung (Bestimmung von Schwebstofffrachten) und den dazu eingesetzten Mitteln (Instrumente, Personal). Die Situation ist vergleichbar mit einer Ab-

flussbestimmung aufgrund von 2-3 Flügelmessungen pro Woche bei kontinuierlicher Aufzeichnung der Pegelstände. Um aber den Schwebstofftransport in seiner ungleich höheren Komplexität mit einer vergleichbaren Genauigkeit zu erfassen, müssten weit umfangreichere Mittel zur Verfügung stehen.

Da man aber in absehbarer Zeit mit den heute verfügbaren Mitteln wird auskommen müssen, führt der rationellste Weg zur Interpretation der Messdaten über deren statistische Verarbeitung - auch wenn dadurch die systembedingten Messfehler zusätzlich durch die statistische Unsicherheit belastet werden. Es erscheint mithin unerlässlich Benutzer von Messdaten auf diese Fehler hinzuweisen und deren statistische Bandbreite anzugeben.

Dies gilt in besonderem Masse für spezifische Untersuchungen an einzelnen Gewässern (z.B. Wildbäche), wo die Resultate in der Regel nur für das Untersuchungsobjekt und für die gewählten baulichen und gerätetechnischen Einrichtungen interpretiert werden können.

Die Interpretation von Schwebstoffmessungen in Seen kann nicht losgelöst von den saisonal stark variablen Schichtungs- und Strömungsverhältnissen erfolgen, die zu den schwierigsten Problemen der physikalischen Limnologie gehören; grössere Untersuchungen über Schwebstoffe in Seen sollten deshalb von Messungen zur Erfassung des Strömungsfeldes begleitet werden.

4.7 Darstellung und Speicherung der Messdaten

Mit der Wahl der Darstellung kann man bestimmte Phänomene hervorheben oder unterdrücken. Bei der LHG ist man bestrebt, eine Darstellungsvariante anzuwenden, welche die ermittelten Daten ohne Wertung, möglichst benutzerfreundlich und ohne überflüssige Informationen wiedergibt. Wichtig ist, dass man klar angibt, welche Grössen zur Darstellung gebracht werden und ob es sich um Messwerte oder um berechnete, abgeleitete Grössen handelt.

Die LHG stellt ihre Schwebstoffbeobachtungen im allgemeinen auf zwei tabellarischen Zusammenstellungen dar. Eine erste Zusammenstellung beinhaltet die Informationen über die gemessenen Konzentrationen sowie die Entnahmebedingungen.

Tabelle 2 und Bild 8 geben die berechneten Frachten (monats- und jahresweise für Jahre und für die Periode), ergänzt mit den grössten beobachteten Konzentrationswerten an (Tab. 3, aus dem Hydrol. Jahrb. d. Schweiz). Eine dritte Zusammenstellung, welche über die wahrscheinliche Häufigkeit der Konzentrationswerte über die Jahre Auskunft geben soll, fehlt noch, aber ihre routinemässige Erstellung ist vorgesehen.

Alle an den Schwebstoffmessstationen der LHG (Bild 7) routinemässig ermittelten Konzentrationswerte werden in die hydrologische Datenbank der LHG aufgenommen.

Tabelle 1: Zusammenstellung der im Laufe eines Jahres (1985) ermittelten Schwebstoffkonzentrationen am Beispiel der Messstation Aare-Brienzwiler

SCHWEBSTOFFBEOBACHTUNG											1985

GEWAESSER : Aare					STATION : Brienzwiler						
ENTNAHMEORT : Wilerbrücke, Mitte Fluss											
ENTNAHMEZEIT : 1400 - 1430											
ENTNAHMEGERAET : Schöpfgerät an Leine (1970)						Düse : D. 4 mm					
=====											
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Konzentration in Milligramm / Liter											

1		18	32						984	1	
2	28			23			42	99			
3					9				56		
4						23				394	
5		45	44				43				36
6								233	253		23
7						139					
8	61	34	39		30				92	40	
9								53			
10				29	18		77	58			100
11	46					50			52		
12		29	38	18			56			17	
13								89	46		27
14					42	23					
15	42		34						53	38	
16				32			239	29			
17					15				60		24
18	36								65		
19				17		30	70			66	
20		40	31					90	17		17
21						22					
22	34	32	41		23				45	17	
23								73			
24				21	11		79				
25	47					52			10	30	
26		27	37	21			190			31	
27								64	8		14
28						36					
29			35		37				94	23	
30	40			24			168	86			
31					14						18
=====											

Tabelle 2: Beispiel einer Darstellung der Monats- und Jahresmittel von Schwebstofffrachten (Station Rhein-Schmitter).

RHEIN - SCHMITTER 1966 - 1975

SCHWEBSTOFFFRACHT (IN TAUSEND TONNEN)

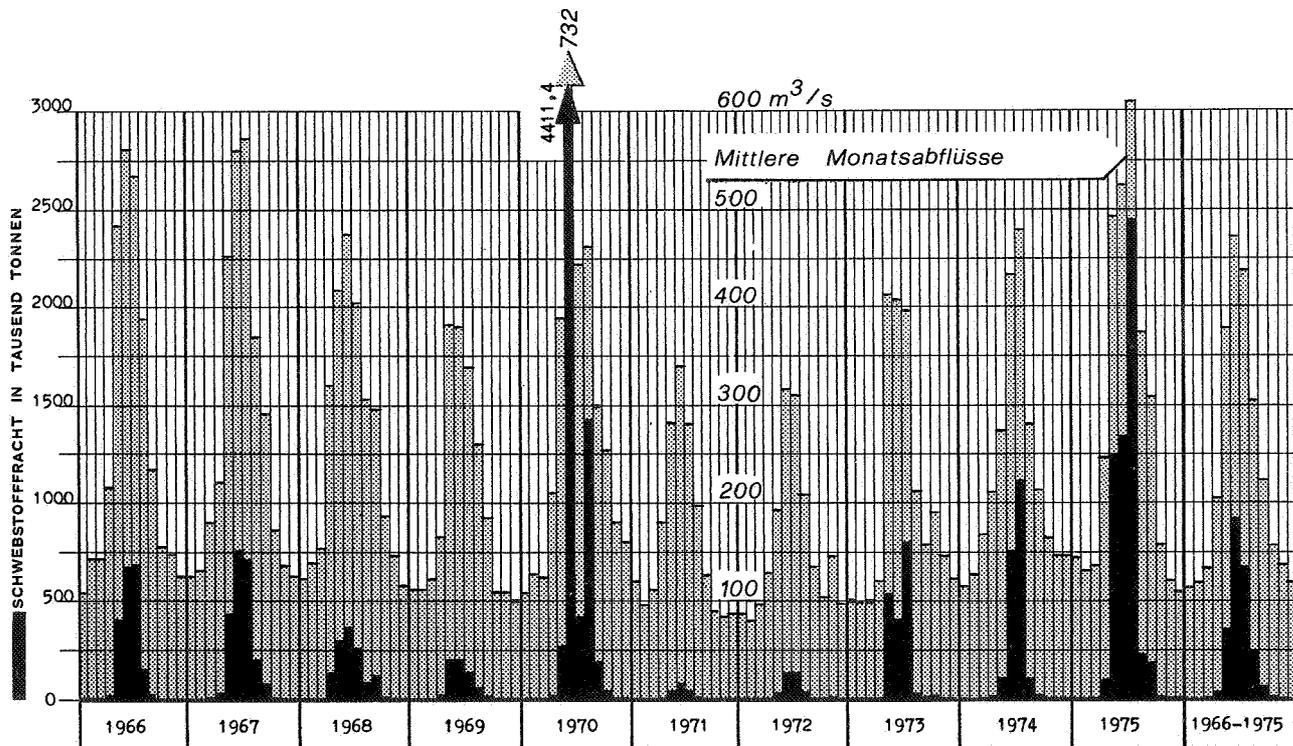
	JAN	FEB	MAE	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
1966	6.0	11.0	11.5	32.9	406.3	678.2	694.5	161.8	36.6	14.2	12.4	8.7	2074.1
1967	5.3	5.7	21.6	45.5	439.6	756.5	723.2	214.4	98.4	19.2	7.7	4.9	2342.3
1968	5.8	7.4	14.4	152.8	304.7	376.1	258.1	101.0	135.5	25.8	11.4	5.3	1398.1
1969	6.2	5.4	7.3	27.2	219.9	223.0	162.0	72.5	26.5	5.5	5.6	4.8	765.8
1970	4.9	6.3	6.8	39.9	266.3	441.4	430.1	1434.9	204.2	57.5	15.0	12.1	6889.3
1971	5.8	3.5	4.8	15.0	55.9	87.9	51.4	18.7	6.3	3.3	2.9	3.1	258.5
1972	2.7	2.0	4.4	10.8	44.3	153.3	148.6	49.3	12.0	5.4	20.3	4.7	458.0
1973	4.3	3.7	4.5	7.5	541.3	400.0	814.0	42.2	15.3	27.6	14.5	7.7	1882.5
1974	4.3	4.9	18.7	31.0	121.2	759.8	1121.4	122.2	34.3	10.4	8.0	8.6	2244.8
1975	8.1	5.5	7.1	110.5	1248.7	1343.5	2456.2	232.2	195.3	12.3	4.5	3.7	5627.7
MITTEL	5.3	5.5	10.1	47.3	364.8	919.0	686.0	244.9	76.4	18.1	10.2	6.4	2394.1
PROZENT	0.2	0.2	0.4	2.0	15.2	38.4	28.7	10.2	3.2	0.8	0.4	0.3	100.0

DIE FUENFZEHN GROSSTEN KONZENTRATIONSWERTE DER PERIODE 1966 BIS 1975

C-WERT	DATUM	ABFLUSS	C-WERT	DATUM	ABFLUSS	C-WERT	DATUM	ABFLUSS
9269.	3 8 1974	351.	3371.	16 9 1975	603.	1959.	23 5 1975	796.
7053.	21 8 1970	870.	3317.	12 8 1975	456.	1900.	12 6 1970	869.
4530.	1 8 1967	395.	3142.	9 6 1970	837.	1853.	17 7 1973	647.
4217.	18 7 1975	797.	3133.	27 8 1971	297.	1752.	20 5 1975	753.
4049.	16 6 1970	888.	2572.	19 6 1970	858.	1680.	26 5 1970	532.

C-WERT IN GRAMM/KUBIKMETER

ABFLUSS IN KUBIKMETER/SEKUNDE



RHEIN - SCHMITTER

MONATLICHE SCHWEBSTOFFFRACHTEN

Bild 8: Beispiel einer Darstellung der Schwebstofffrachten als Histogramm (Werte der Tab. 2).

Tabelle 3: Schwebstofffrachten aller bestehenden Stationen der LHG, mit Angabe der vier grössten beobachteten Konzentrationen.

Schwebstofffrachten – Charges solides en suspension – Carichi solidi in sospensione

von 15 Messstellen – de 15 emplacements de mesure – di 15 posti di misurazione

Gewässer Cours Corsi d'acqua	Messstelle Empl. de mesure Posti di misur.	Jahr Année Anno Periode Periodo	Monatsfrachten – Charges solides mensuelles – Carichi solidi mensili												Jahresfrachten Charges annuelles Carichi annuali	Konzentration Concentration Concentrazione	
			Jan. Janv. Genn.	Febr. Févr. Febbr.	März Mars Marzo	April Avril Aprile	Mai Mai Mag.	Juni Juin Giug.	Juli Juillet Luglio	Aug. Août Ago.	Sept. Sept. Sett.	Okt. Oct. Ott.	Nov. Nov. Nov.	Dez. Déc. Dic.		Datum Date Data	g/m ³
			in en in 1000 t															Max.
(o) Landquart, Felsenbach		1983 1979-83	4,9 3,4	3,6 3,4	7,7 16,0	31,1 48,0	128,7 160,8	296,7 359,6	53,0 174,2	15,0 43,6	38,6 29,2	5,2 21,8	3,8 8,1	4,0	592,1 872,4	17.10.1980 21.7.1981 11.9.1981 2.9.1983	37180 31390 11080 10530
(o) Rhein, Bad Ragaz ¹⁾ , ARA, Maiefeldbrücke		1983 1964-83	10,3 8,3	11,1 7,7	13,2 13,7	21,5 36,1	167,4 171,3	307,3 502,4	110,8 304,6	28,2 84,3	69,4 178,5	10,2 38,1	7,7 13,7	6,1 8,8	763,4 1367,9	17.10.1980 10.9.1965 24.7.1981 17.11.1964	14880 6981 6468 4454
(i) Rhein, Schmitter		1983 1966-83	4,5 5,0	5,1 5,4	7,5 11,7	35,6 47,7	461,4 350,1	976,9 891,2	255,7 644,9	46,9 250,8	226,1 198,7	5,6 43,9	3,9 10,2	3,8 5,8	2033,0 2465,5	3.8.1974 9.8.1977 21.8.1970 7.9.1982	9269 8783 7053 6755
(o) Thur, Halden		1983 1975-83	2,4 9,7	1,0 19,0	1,2 17,8	6,8 10,3	3,7 4,8	1,3 46,7	0,2 46,6	1,9 19,9	3,4 18,4	0,2 4,1	3,8 9,0	3,4 4,6	29,3 211,3	28.6.1979 9.8.1979 17.6.1982 21.7.1977	3692 2756 1946 1523
(i) Aare, Brienzwiler		1983 1964-83	1,7 1,6	1,6 1,5	2,0 2,0	3,1 3,1	7,2 11,9	15,7 28,6	20,6 31,5	19,3 28,2	10,9 8,0	2,9 3,1	1,8 2,4	1,6 1,7	88,3 123,2	22.5.1973 15.7.1965 31.5.1974 20.8.1971	6426 5947 4129 3286
(i) Lüttschine, Gsteig, Bönigen		1983 1964-83	0,1 0,1	0,1 0,1	0,2 0,5	1,6 1,7	7,2 11,2	42,8 35,7	77,3 45,4	31,9 36,6	12,3 5,4	0,7 1,7	0,4 4,0	0,2 0,2	174,8 142,5	17.8.1981 16.5.1983 17.8.1970 10.7.1972	5035 2939 2921 2803
(o) Emme, Wiler, Limpachmündung		1983 1979-83	1,2 5,9	0,7 14,9	0,9 10,1	4,8 1,8	9,8 3,5	0,8 3,4	0,7 5,7	0,2 1,1	4,9 1,4	0,4 1,8	5,4 3,9	1,3 2,7	31,0 56,4	2.6.1980 15.10.1981 17.8.1981 15.10.1979	5532 2977 2849 1362
(o) Aare, Untersiggen- thal, Stilli		1983 1964-83	17,7 15,4	14,5 29,1	15,5 22,5	43,0 42,4	68,4 87,9	55,0 118,2	25,6 99,5	17,6 79,6	27,0 55,1	8,3 20,7	8,8 55,1	13,1 24,5	314,2 649,8	8.8.1978 25.7.1972 10.9.1974 30.6.1972	1281 1172 1113 914
(o) Reuss, Seedorf		1983 1979-83	0,3 0,3	0,2 0,3	0,3 0,7	1,0 1,3	4,6 4,8	10,1 17,1	10,5 13,1	4,2 9,1	2,7 5,7	0,6 2,3	0,3 0,5	0,2 0,3	34,9 55,5	11.6.1982 31.3.1981 31.8.1982 30.7.1982	1909 848 810 718
(o) Reuss, Mühlau, Reussbrücke		1983 1977-83	1,1 1,3	0,9 1,8	1,3 2,8	3,2 3,8	8,4 8,6	12,6 19,1	7,6 16,5	4,5 10,9	4,2 4,0	1,1 4,1	0,7 2,2	1,2 1,5	46,9 76,8	2.9.1983 8.8.1978 5.2.1980 15.11.1977	2528 2145 1772 1039
(i) Linth, Mollis, Gäsibrücke		1983 1964-83	1,5 0,9	1,1 0,8	1,3 2,0	3,7 4,5	17,3 17,8	33,1 34,3	7,5 23,0	3,9 11,3	12,5 6,0	1,2 2,9	1,0 4,9	1,0 0,9	85,1 109,2	17.10.1980 7.12.1965 17.7.1973 17.11.1972	5728 3871 3026 2955
(i) Lonza, Blatten		1983 1966-83	0,1 0,1	0,1 0,1	0,1 0,1	0,1 0,1	0,1 0,3	2,2 2,3	10,7 5,2	5,3 4,4	1,7 0,8	0,2 0,2	0,1 0,1	0,1 0,1	20,3 12,8	28.6.1975 4.8.1971 29.5.1981 10.6.1976	9295 6902 6358 5387
(i) Rhône, Porte du Scex		1983 1965-83	13,2 10,1	17,7 13,2	14,9 16,2	24,4 28,5	86,6 115,4	667,3 584,2	1244,9 574,7	323,0 355,1	205,8 115,5	19,8 37,8	17,2 18,4	8,3 10,8	2643,0 1879,6	15.10.1979 23.8.1973 17.6.1965 15.10.1981	4715 3825 3620 3136
(o) Arve, Genève, Bout du Monde Pont des Acacias		1983 1965-83	4,0 15,9	3,7 37,5	10,4 29,7	88,5 58,3	185,0 121,7	108,0 210,4	64,8 125,0	11,7 70,2	40,4 180,0	8,9 50,3	75,6 54,1	16,9 66,0	617,8 1019,4	1.7.1974 27.7.1971 10.7.1972 31.5.1974	9954 8977 4761 4438
(o) Ticino, Bellin- zona ²⁾ , ponte di Gudo		1983 1979-83	0,6 0,8	0,4 0,7	0,3 6,3	1,3 3,2	94,6 85,2	10,2 52,1	4,3 71,1	0,9 9,9	29,3 164,6	0,5 651,5	0,3 4,1	0,2 1,2	143,0 1051,0	24.7.1961 31.7.1979 17.10.1980 7.9.1982	3481 1862 1814 1668

¹⁾ Unterbruch / interruption / interruzione: 1.1.1975-1.2.1979

²⁾ Bis 1982 wurden die Frachten mit den Abflüssen Riazzino berechnet / Jusqu'en 1982 les charges ont été calculées avec les débits de Riazzino / Fino al 1982 i carichi sono stati calcolati con le portate Riazzino

Frachten mittels Integrations- (i), bzw. Oberflächenentnahmen (o) bestimmt.
Charges déterminées par prélèvements en surface (o) ou par intégration (i).
Carichi determinati mediante prelievi in superficie (o) o integrazione (i).

4.8 Ausgesuchte Erfahrungen und Bemerkungen

Die bisherigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Schwebstoffmessung im In- und Ausland lassen erkennen, dass in Fließgewässern zwischen Abfluss und Schwebstoffkonzentration in der Regel keine eindeutige Beziehung besteht. Dies liegt einerseits in den gebietsspezifischen Eigenschaften begründet, und ist ausser von den hydrologischen und hydraulischen Randbedingungen auch eine Folge der Nutzung des Einzugsgebietes, der Besiedlungsdichte und der industriellen Ballungsräume.

Aus dieser Erkenntnis folgt zwingend, dass man zur Ermittlung der Schwebstoffkonzentrationen und der daraus abzuleitenden Frachten nicht auf Probenahmen verzichten kann. Dabei ist die dem Gewässertyp bestmöglich angepasste Messmethode zu wählen. Die unvermeidlichen Fehler bei der Probenahme (Apparatur, Geräte, Personal) und bei der Frachtberechnung sind statistisch zu erfassen, um den Informationswert der Daten für deren Interpretation abzugrenzen.

Nach Auffassung der Arbeitsgruppe ist die Erhebung von Schwebstoffkonzentrationen und die Berechnung entsprechender Frachten nach der Methode der LHG in Flüssen unterhalb von Seen in der Regel genügend. An Messstationen oberhalb von Seen sollte jedoch der Schwebstofffassung während Hochwasser durch häufigere (automatische) Probenahme vermehrt Rechnung getragen werden (Ereignisfrachten). Die Entwicklung und Erprobung kontinuierlicher Messmethoden für schwebstoffabhängige Parameter (Trübung, Schall, Gammastrahlung) muss deshalb in Zusammenarbeit mit Hochschulinstituten weitergetrieben werden. Der Einsatz solcher Methoden wird nach Auffassung der Arbeitsgruppe als wesentliches Hilfsmittel betrachtet - auch wenn nicht damit zu rechnen ist - dass sie als Substitution der direkten Konzentrationbestimmung (Probenahme) in Frage kommen werden.

Bei der Schwebstoffmessung in Wildbächen kommen den baulichen Details bei automatischer Probenahme grosse Bedeutung zu, namentlich was die Repräsentativität der Entnahmestelle bei der

ausgeprägten Variabilität des Abflusses betrifft. Im Hinblick auf die Ueberprüfung der Repräsentativität der Probenahme ist die Analyse und der Vergleich von manuell und automatisch entnommenen Proben äusserst wichtig. Es muss immer wieder auf den beschränkten Interpretationsbereich hingewiesen werden. Gerade bei den Schwebstoffen fehlen noch eine Reihe grundsätzlicher Abklärungen. Sie beziehen sich vor allem auf den Einfluss baulicher Gegebenheiten auf die Probenahme sowie auf die Ueberprüfung der Repräsentativität für den untersuchten Wildbach. Spezielle Vorsicht ist beim Vergleich von Datenmaterial verschiedener Gebiete und insbesondere bei der Abschätzung der gesamthaft transportierten Feststofffracht (Schwebstoffe und Geschiebe) geboten, weil bei extremen Abflüssen grosse Fehler in der Schwebstoffmessung (z.B. messtechnisch bedingte Limitierung des erfassbaren Maximalkorns) auftreten können.

Für die Erfassung der Konzentration und der Verteilung der Schwebstoffe in Seen sind die verfügbaren Methoden genügend. Die Interpretation der Schwebstoffbewegungen bedarf jedoch der Angaben über grossräumige Strömungsfelder. Ein langfristiges Programm zur Erhebung von Schwebstoffen in Seen drängt sich nach Ansicht der Arbeitsgruppe nicht auf. Entsprechende Untersuchungen sollten im Rahmen grösserer physikalisch-limnologischer Forschungsprojekte durchgeführt werden.

5. DIE ERHEBUNG VON GESCHIEBEFRACHTEN

5.1 Erhebung von Geschiebefrachten in Bächen

5.1.1 Messgrössen

Als Hauptgrösse ist das Volumen der Geschiebefracht zu bestimmen. Sehr erwünscht ist die alljährliche Messung, möglichst immer auf den gleichen Termin (sogenannte Jahresfracht). Weiter sollten die Extremereignisse erfasst werden (sogenannte Fracht eines Einzelereignisses). Besteht nur die Möglichkeit, die Geschiebekubaturen in grösseren Zeitabständen zu bestimmen, so sollte dieser Zeitabstand zwischen den Messungen keinesfalls 10 Jahre überschreiten, noch besser nicht mehr als 5 Jahre betragen (sogenannte Mehrjahresfracht). Auch in diesem Falle ist auf eine zeitlich regelmässige Messung Gewicht zu legen.

Auf folgendes ist noch hinzuweisen: Je nach Einzugsgebiet und Art des Ereignisses wird der Feinmaterialanteil unter Umständen sehr gross sein. Ein wesentlicher Anteil dieses Feinmaterials < 2,0 mm ("Schlammanteil") wird je nach Konstruktionsart des Sammlers zum grösseren Teil zurückgehalten oder aber weitertransportiert. Dieser Umstand wird die Volumenbestimmung beeinträchtigen. Als Problem tritt diese Erscheinung besonders in lehmreichen Einzugsgebieten auf (Flysch, z.T. Bündnerschiefer, gewisse Juraformation etc.). In solchen Fällen wäre es von grossem Vorteil, wenn zusammen mit der "Geschiebefracht" auch eine Schätzung des Schlammanteils an dieser Geschiebefracht angegeben werden könnte (Fraktion Sand und feiner).

5.1.2 Wahl des Messtandortes

Als Messanlage kommt wie erwähnt, praktisch nur ein voll wirksamer Geschiebesammler in Frage. Sein Standort soll so beschaffen sein, dass bachaufwärts weder namhafte Ablagerungen noch Bachausbrüche möglich sind. Der geeignetste Standort eines Geschiebesammlers für Messzwecke ist der Kegelhals. Zweifachsam-

lersysteme, d.h. einem Grobgeschiebesammler ist weiter bachabwärts ein Feinmaterialsammler nachgeschaltet, sind für den vorgesehenen Zweck nur dann brauchbar, wenn beide Sammler gleichzeitig geräumt werden. Sammler, die wesentlich unterhalb des Kegelhalses angeordnet sind oder sich gar am Kegelfuss befinden, sind nicht geeignet.

5.1.3 Anforderungen an Einzugsgebiet und Bach

Je einheitlicher die ausgewählten Einzugsgebiete sind, umso aussagekräftiger wird das Ergebnis. Leider ist die Vielfalt im Charakter von Einzugsgebiet und Bach derart gross, dass es aus Aufwandgründen nicht möglich sein wird, alle Wünsche zu befriedigen. Man hat sich deshalb zu bemühen, bei der Auswahl der Messgebiete den Wunschvorstellungen wenigstens in gewisser Näherung zu folgen. Die Gebiete sollten im Prinzip folgende Bedingungen erfüllen:

- Geologie: Die Messgebiete decken die wesentlichsten geologischen Formationen der Schweiz ab. Sie weisen einen möglichst einheitlichen geologischen Aufbau auf und sind keine ausgesprochenen Karstgebiete. Hydrogeologisch ist die Wasseraufnahmefähigkeit (Speichervermögen) nicht überdurchschnittlich gross. Bevorzugt ist geringes Speichervermögen.
- Klima: Die Messgebiete gehören den typischen Klimaregionen der Schweiz an.
- Hydrologie: Die Messgebiete sind hinsichtlich Niederschlag und Abfluss typisch für "Gewitterregime", "Dauerregenregime" und Schnee/Gletscherschmelzregime. "Kraftwerksregime" sind möglichst zu meiden. Weiter sind es Gebiete mit schwacher, mittlerer oder vorzugsweise starker Geschiebeführung sowie solche mit seltenen bis häufigen Murgängen.
- Einzugsgebiet: Bezüglich Grösse ist es kleiner als 20 km^2 , ausnahmsweise kleiner als 50 km^2 , vorzugsweise aber 1.0

bis 10 km² gross. Seine Form variiert zwischen langgestreckt und kesselförmig. Das Gewässernetz ist wenig dicht bis äusserst dicht (eingeschlossen, permanente, offene Entwässerung). Weiter ist das Gebiet voll bewaldet bis waldfrei, stark vergletschert bis vorzugsweise nicht vergletschert, intensiv bis sehr intensiv bewirtschaftet. Es umfasst ausgedehnte Rutsch- und Kriechgebiete als auch rutschungsfreie Einzugsgebiete. Ueber die ganze Dauer der Messkampagne behält es seinen ursprünglichen Charakter bei (keine ins Gewicht fallende Veränderung der Besiedlung und Erschliessung, keine wesentlichen Veränderungen in der Bewirtschaftung und im Waldbestand).

- Bach: Die Bäche umfassen das ganze Bachspektrum, sowohl den "harmlosen" Bergbach als auch den schlimmsten Wildbach. Es sind dies Bäche mit schwacher bis starker Gerinneerosion, stabilen bis instabilen Bacheinhängen, mit Runsen-, Lawinen- und Rutschungsablagerungen im Bachbett, mit und ohne Schwemmholtzproblemen und wie bereits erwähnt, mit schwacher bis sehr starker Geschiebeführung sowie mit und ohne Murgängen. Der Bachlauf ist gestreckt bis stark gewunden, hinderarm bis hindernisreich, mehrheitlich nicht bis schwach verbaut und nur ausnahmsweise stark bis voll verbaut. Die Geschieberentention (Akkumulierung) oberhalb der Messstelle ist wie erwähnt gering.

5.1.4 Informationen über das Einzugsgebiet und den Bach

Damit eine genügende Einheitlichkeit dieser Informationen erreicht wird und keine wesentlichen Angaben für die Auswertung fehlen, wurde eine Checkliste der Gebiets- und Bachmerkmale erstellt. Diese Liste wird es ermöglichen, die Bäche grob zu klassieren und die Geschiebefrachten entsprechend auszuwerten (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4

Programm "Geschiebefrachten"

Datum der Erhebung:

BESCHREIBUNGSMERKMALE

Name des Gewässers/Messstelle:

Kanton:

Lage der Messstelle: LK 1:25000, Blatt Nr.: Koord.:

Alpen nördliche Voralpen südliche Voralpen Mittelland Jura

Einzugsgebiet

Grösse F:km² Höchster Pkt:m ü.M. Tiefster Pkt:m ü.M. Mittlere Höhe:m ü.M.

Exposition: N NE E SE S SW W NW

Formfaktor: L²/F =

Bodenbenutzung,
Bodenbeschaffenheit:

	Ja/nein	km ²	% von F		Ja/nein	km ²	% von F
Gletscher	Fels	.....	.....	.....
Seen, Sümpfe	Schutthalden	.....	.....	.....
Wald	Offene Entwässerung	.....	.....	.....
Wiese	Geschl. Entwässerung	.....	.....	.....
Weide	Versiegelte Flächen	.....	.....	.....
Siedlungen

Geologie: Lockergesteine Sedimentgesteine Kristallin (z.B.: Molasse, Flysch, Karbonatgesteine)

Homogenität des Gebietes: Hydrologie: homogen inhomogen stark inhomogen
Geologie: homogen inhomogen stark inhomogen

Gewässer

Gewässertyp: Bergbach Flachlandbach Fluss

Gerinne oberhalb Messstelle: unverbaut leicht verbaut stark verbaut

Ablagerungsstrecke Transportstrecke Erosionsstrecke

Zwischenakkumulation: ja/nein

Ausbrüche, Ausuferung: ja/nein

Gefällsbrüche:

Geplante Eingriffe:

Seitenzuflüsse:

Abflussregime: Wasserführung: ganzjährig nur bei Starkregen/Schneeschnmelze selten
Häufigkeit der Hochwasser: mehrmals jährlich einmal alle 2-5 Jahre selten
Wasserableitungen: ja/nein

Hydrologische/Meteorologische Messstationen

Abflussmessung: ja/nein Name der Messstation:

Lagekoord.:

Messmethode:

Niederschlagsmessung: im Gebiet: ja/nein Ort:

ausserhalb Gebiet: Ort:

Tabelle 4, Fortsetzung

Geschiebe

Herkunft:
(in der Regel)

	%		%
Sohlenmaterial/Ufermaterial	.....	Schutthalden	.....
Seitenzuflüsse	.....	Lawinen	.....
Bergsturz	.....	Direkteintrag in Sammler	.....
Rutschungen	.....		.....

Ursache der starken Geschiebeführung: Gewitter/Starkniederschläge Dauerregen Ufer/Hangrutschungen
 Verklausungen Sperrenbruch Regulierung von Stauräumen

.....

Häufigkeit der Geschiebeschübe: mehrmals jährlich einmal alle 2-5 Jahre selten

Geschiebeablagerung: Geschiebesammler: mit vollem / nur teilweisem Geschieberückhalt
 Rückhaltebecken Sortierbecken Dosierbecken
 eingestaut nicht eingestaut

Gefälle des Sammlers:

Gefälle des Zubringers:

Ablagerung in Flussabschnitten: Entnahme oberhalb : ja/nein
 Entnahme unterhalb: ja/nein

Delta See Staubecken

Methode: Schätzung Entnahmekubaturen Vermessung
 andere Methoden:

Zusammensetzung: Anteil Geschiebe: % Anteil Schwebstoffe: %
 (in der Regel) Anteil Holz/Geschwemmel: %

Beobachtungshäufigkeit: jährlich mehrjährlich; Anzahl Jahre Extremereignisse

Bemerkungen:

.....

Weiter ist eine Chronologie der Extremereignisse sehr erwünscht, die möglichst weit in die Vergangenheit reicht. Sie vermittelt eine Beschreibung der "Katastrophenereignisse" (Zeitpunkt des Ereignisses, Umstände die zu den Schäden führten, Schadenausmass, Ort von Bachausbrüchen und Uebermurungen etc.) und die in der Folge realisierten Schutz- und Sanierungsmassnahmen.

Für eine eingehende Auswertung sind allerdings zusätzliche Angaben über Einzugsgebiet und Bach erforderlich, die von Fall zu Fall von Spezialisten zu erheben sind.

5.1.5 Messmethoden zur Erfassung der Geschiebefracht

Die in Frage kommenden Möglichkeiten der Volumenbestimmung der Geschiebefracht sind wie erwähnt (vergleiche Abschnitt 3.3): Profilaufnahme (Vermessung) einerseits und Bestimmen der bei der Räumung abtransportierten Kubaturen andererseits. Das ausschliessliche Schätzen von Ablagerungskubaturen soll nur im äussersten Notfalle zugelassen sein.

- Profilaufnahmen: Aufnahme von parallel angeordneten Profilen im Abstand von 1.0 bis 2.0 m mit Profilpunkten mit einem Zwischenraum von ebenfalls 1.0 bis 2.0 m. Es ist von Vorteil, die Profile jedes Jahr standörtlich gleich zu wählen und deshalb die Profilendpunkte zu verankern. Abstände und Zwischenräume sind immer gleich gross zu wählen, damit ein Quadratnetz von Punkten entsteht. Wird der Geschiebesammler geräumt, ist auch der entleerte Sammler neu zu vermessen. Bei sehr grossen Geschiebesammlern oder falls doch Uebermurrungsflächen aufzunehmen sind, kann die photogrammetrische Aufnahme- und Auswertetechnik geeigneter sein. Je nach Objekt, kann der Aufwand erheblich werden. Für Aufnahme und Auswertung braucht es den Spezialisten.

- Räumkubaturen: Das Auszählen der abtransportierten Kubikmeter Geschiebe resp. der abtransportierten Wagenladungen ist eine beliebte Schätzmethode, jedoch verbunden mit entsprechend grosser Ungenauigkeit. Sie funktioniert nur, wenn das gesamte Ablagerungsmaterial geräumt wird (es darf weder zuviel noch zuwenig Geschiebe entnommen werden). Es empfiehlt sich deshalb die Geschiebesammler als Markierung des Leerzustandes mit fester Sohle und Böschung zu versehen, zum Beispiel durch Einbau einer Rollierung oder einzelnen, in Sohle und Böschung plan verlegten Blöcken; bei kleinen Sammlern eventuell durch verlegen einzelner, verankerter Eisenbahnschwellen, etc.

Die Genauigkeit kann weiter verbessert werden, wenn die Lastwagen, z.B. mit Hilfe einer mobilen Gewichtsmessschwelle (handelsüblich) gewogen werden (Befahren auf horizontaler Wegstrecke im Leerzustand und voll beladen; man beachte den Füllungsgrad des Brennstofftanks und das im Geschiebe mitgeführte Wasser/Wassersättigungsgrad).

Geschiebesammler, welche als Kieslieferanten dienen und deshalb je nach Bedarf des Unternehmens unsystematisch und nur teilweise ausgebeutet werden, sind für Messzwecke ungeeignet. Diese Entnahmen sind jedoch bei der Bilanzierung der grösseren Einzugsgebiete zu berücksichtigen und sollten daher erfasst werden.

5.1.6 Zusätzliche Erhebungen

Als zusätzliche Arbeiten sind zu nennen: Bestimmung der bodenmechanischen Geschiebekennwerte, der Abflussdaten von Hochwasserereignissen und eine kurze Beschreibung des Ereignisablaufes.

- Kornverteilung des Geschiebes: Die wichtigste Grösse ist die Kornverteilung. Da die Geschiebeablagerung häufig sehr heterogen aufgebaut sind, sich während des Ablagerungsvorganges das Material oft entmischt, ist es schwierig, eine repräsentative Materialprobe für die Bestimmung der Konverteilung zu

finden. Man kann deshalb nicht irgendwo eine Materialprobe für die Analyse entnehmen, sondern man hat eine mittlere Mischung herzustellen. Der Arbeitsaufwand ist erheblich. Vorgehen: Man messe die Grobkomponenten grösser als 6.0 cm Durchmesser mit einer Lehre (Blöcke mit dem Meter) und bestimme deren Gewichtsanteil an der gesamten Geschiebeprobe. Die feineren Fraktionen werden gesiebt. Die Komponenten Feinsand und feiner (<0.02 cm) sind nicht mehr weiter aufzugliedern. Man verwende einen Quadratloch-Normsiefsatz. Das Sieben der Feinkiesfraktion und feiner hat am getrockneten Material zu erfolgen. Um eine repräsentative Kornverteilung zu erhalten, benötigt man ein Volumen der Materialprobe, das ein Vielfaches so gross ist wie das Volumen des Maximalkorns (s.a. 5.2.5).

- Raumgewicht: Je nach Auswertemethode (Hydraulik) braucht man das Gewicht oder aber das Volumen der Geschiebefracht. Das Raumgewicht ist deshalb eine wichtige Umrechnungsgrösse. Es handelt sich um das Raumgewicht der (ungestörten) Geschiebeablagerung. Das benötigte Materialvolumen der Probe hat ebenfalls ein Vielfaches des Volumens des Maximalkornes aufzuweisen. Weitere Hilfsgrössen sind in diesem Zusammenhang das spezifische Gewicht des Geschiebes. Von den Blöcken gebe man einige abgeschlagene Stücke und vom restlichen Material ca 1 kg an ein Erdbaulabor zur Untersuchung.

Falls die Geschiebefracht per Lastwagenwägung erfolgt, ist es vorteilhaft, den zusammen mit dem Geschiebe gewogenen Wasseranteil zu kennen. Für eine Wassergehaltsbestimmung benötigt man eine Materialprobe aus Mittel- bis Feinstkorn. Kennt man den Grobmaterialanteil (Konverteilungskurve), so kann der gemessene Wassergehalt auf die Gesamtprobe umgerechnet werden. Unter Umständen lässt sich auch der Wassergehalt mit einer Neutronensonde messen.

Da diese Geschiebekennwerte arbeitsintensive Untersuchungen verursachen, können diese Werte normalerweise nur sporadisch bestimmt werden (z.B. nur bei Extremereignissen oder nicht häufiger als alle 5 bis 10 Jahre einmal).

- Abflussdaten: Im Falle einer unterhalb des Geschiebesammlers vorhandenen Abflussmessstation sind die für die Messperiode massgebenden Hochwasserabflussganglinien mit den Geschiebefrachtfrachtdaten mitzuliefern. Ist dort nur ein Hochwasserpegel vorhanden, so gebe man die beobachteten Pegelstände der Hochwasserereignisse an. In letzterem Falle ergänze man diese durch Angaben über Beginn, Dauer und Ende, sowie dem Zeitpunkt des Höchstabflusses des Ereignisses. Fehlen jegliche Abflussmengen, so versuche man mit Hilfe von Hochwasser Spuren von unterhalb des Sammlers den Höchstabfluss wenigstens näherungsweise zu bestimmen. Auch in diesem Falle sind die zusätzlichen Angaben über den zeitlichen Verlauf des Abflusses mitzuteilen.

- Beschreibung der Extremereignisse: Abgesehen von den oben bereits erwähnten Zusatzinformationen, sind folgende Angaben sehr erwünscht:
 - Ursache des extremen Ereignisses (Gewitter, kurze bis lange Dauerregen, mit oder ohne Hagel, mit oder ohne Schneeschmelze etc.)

 - Gründe, die zu der beobachteten, starken Geschiebeführung führten (Bacherosionen, Ufer- und/oder Hangrutschungen, Verklausungen, Bruch von Sperrren, Verstopfen von Durchlässen, sonstige menschliche Eingriffe etc.).

 - Verlauf des Geschiebeflusses (gleichmässiger Abfluss, schubweiser, in einer oder mehreren Wellen erfolgender Abfluss als Murgang, als "Erdlawine", d.h. sehr schwerer Murgang).

 - Art und ungefähres Ausmass der angerichteten Schäden.

 - Angaben über oberhalb des Geschiebesammlers erfolgte Bachausbrüche oder Gchiebeablagerungen, die die im Geschiebesammler aufgefangene Geschiebefracht stark verminderte; Schätzung der Grössenordnung dieses "Geschiebeverlustes".

- Angaben über antransportiertes Schwemmholz (Zusammensetzung, Volumen).
- Angabe des Füllungsgrades des Geschiebesammlers vor dem Ereignis.
- Schätzung des Geschiebe- resp. Schlammanteils, der infolge Weitertransportes nicht im Geschiebesammler abgelagert wurde ("Geschiebeverluste") sowie Schätzung des Schlammanteils im aufgefangenen Material.

5.2 Erhebung von Geschiebefrachten in Flüssen

5.2.1 Messgrößen

Es gilt grundsätzlich das unter 5.1.1 gesagte. Im Vordergrund steht die Erfassung einer jährlichen Geschiebefracht. Die Frachten von Extremereignissen abzuschätzen ist äusserst schwierig. Ihre Kenntnis wäre für Hochwasserschutzbauten ein Fernziel. Mehrjahresfrachten sollten auch bei Flüssen maximal alle 10 Jahre erhoben werden.

Auch in Flüssen ist es unbedingt erforderlich, die "Netto"-Geschiebefrachten zu bestimmen, und den Schlammanteil abzuschätzen.

Streng genommen müssten die Frachten nach Kornfraktionen aufgeteilt werden können. Diese Information kann aber nur bei kommerzieller Kiesgewinnung eventuell erhalten werden. Damit ein Vergleich zu einer rechnerischen Behandlung des Geschiebetransports möglich ist, müssen mindestens einige Angaben über den Korngrößenbereich und die häufigsten Korngrößen gemacht werden können.

5.2.2 Wahl des Messtandortes und Erfassungsmöglichkeiten

Vergleiche hierzu auch Abschnitt 3.4

Die Auswahlmöglichkeiten sind durch die begrenzte Anzahl Stellen, an denen überhaupt Geschiebe entnommen und erfasst wird, bereits stark eingeengt. Wo eine Auswahl besteht, muss geprüft werden, welche Ziele mit einer Datenerfassung erreicht werden können. Die Messungen sollen ja nicht Selbstzweck sein, sondern sollen einem übergeordneten Bedürfnis dienen. Damit aber eine generelle Zielsetzung erfüllt werden kann, müssen Zusatzinformationen vorhanden sein oder erhoben werden können.

In Frage kommen die (wenigen) ausgebauten Geschiebesammler an Flüssen (Emme, Wyna, Gürbe). Ferner bieten sich fest eingerichtete Baggerstellen an. Bei diesen wird regelmässig eine Grube ausgehoben, deren Maximalabmessungen durch Reichweite des Schrappers gegeben sind. Somit sind die Verhältnisse jenen von ausgebauten Geschiebesammlern ähnlich.

Falls mit Schwimmbaggern innerhalb einer festgelegten Fläche und festgelegtem Tiefenbereich gearbeitet wird (Beispiel Rheinmündung Bodensee), so sind die Verhältnisse ebenfalls klar definiert wie in einem Geschiebesammler.

Voraussetzung für die Auswahl von Baggerstellen ist, dass über die Entnahmen in einigermassen verlässlicher Art Buch geführt wird.

Etwas ungünstiger sind Entnahmestellen, wo mit mobilen Geräten gearbeitet wird. An solchen Stellen dürften nur die mehrjährigen Mittelwerte nützlich sein. Auszuschliessen sind Entnahmestellen, wo auch anstehendes Material ausgebeutet wird, das mengenmässig von Flussgeschiebe nicht unterschieden werden kann.

Oft wird bei der Räumung auf die verschiedenen Komponenten geachtet, da diese ja kommerziell unterschiedlich verwertbar sind. Daraus kann mindestens ein Mittelwert für den Schlammanteil gewonnen werden.

5.2.3 Informationen über das Einzugsgebiet und den Flusslauf

Generelle Abgaben zum Einzugsgebiet, wären auch für die Messstellen an Flüssen einmal zu erheben. Es betrifft dies Parameter wie die Fläche, die Anteile der Bodenbeschaffenheit und Bodenbenutzung, die Exposition usw. Die Geschiebequellen können bei der Grösse dieser Einzugsgebiete kaum lokal erfasst werden. Es sollte aber soweit wie möglich angegeben werden können, welche Teileinzugsgebiete vor allem für die Geschiebezufuhr verantwortlich sind.

● Abflüsse

Die Geschiebeführung und die Geschiebefracht eines Flusses stehen mit dem Abflussregime des Flusses in Zusammenhang. Im Idealfall befindet sich eine Messstelle für die Erhebung der Geschiebefracht in der Nähe einer eidgenössischen oder kantonalen Wassermessstation. Ist dies nicht der Fall, so sollten an einem geeigneten Standort in der Nähe Hochwasserpegel installiert werden, so dass wenigstens über die Spitzenabflusswerte Informationen vorhanden sind.

● Flussquerprofile

Werden Daten über die Geschiebefrachten erhoben, so liegt es vorerst einmal nahe, diese mit der Grössenordnung der Differenzvolumen zu vergleichen, die sich aus periodischen Vermessungen des Flussgerinnes ergeben. Im Idealfall liegt die Messstelle im Bereich einer Korrektionsstrecke, deren Verhalten durch regelmässige Querprofilaufnahmen (BWW, Rheinbauleitung) überwacht wird. Ist dies nicht der Fall, so sollte doch der Abschnitt oberhalb der Messstelle bei Aufnahme der Erhebungen auf einer Distanz von 2 bis 3 km vermessen werden und diese Messungen in grösseren Zeitabständen wiederholt werden. Fallweise muss die Gerinneentwicklung in diesem Bereich durch Luftaufnahmen dokumentiert werden, wobei der Abstand von 6 Jahren zwischen Aufnahmedaten des Bundesamtes für Landestopographie genügen dürfte.

● Sohlenmaterial

In der Nähe einer Messstelle sollte auch die Kornverteilung des Sohlenmaterials (Deckschicht, Unterschicht) der Flussstrecke bekannt sein. Diese kann nach den üblichen Verfahren (Volumenproben und Siebanalysen der Unterschicht, Flächenproben und Linienzahlanalysen der Deckschicht) bestimmt werden. Eine solche Erhebung hätte bei Aufnahme einer Messreihe und dann in längeren Zeitabständen wieder zu erfolgen.

Die an einem bestimmten Ort gemessene Geschiebefracht ist vorerst einmal das Resultat der Umlagerung des Sohlenmaterials in der oberhalb der Messstelle gelegenen Flussstrecke. Für die Analyse dieses Prozesses ist die Kenntnis des weiteren Einzugsgebiets an sich sekundär. Soll nun aber in einer weiteren Zukunft, wenn längere Messreihen vorhanden sind, das Datenmaterial statistisch ausgewertet und die Resultate auf andere Flüsse extrapoliert werden, so ist doch eine genauere Kenntnis der Einzugsgebiete erforderlich.

5.2.4 Messmethodik

Das Zählen respektive besser das Wägen der Lastwagen, welche das entnommene Geschiebe abtransportieren (s.a. 5.1.5), ist praktisch die einzige Methode, welche in Frage kommt.

In Einzelfällen kommt die Unterwasservermessung (Echolotaufnahme), allenfalls zusätzlich, in Frage.

5.2.5 Zusätzliche Erhebungen

Es kann davon ausgegangen werden, dass an vielen der erwähnten Geschiebesammler oder Baggerstellen die geräumten Kubaturen noch einigermaßen leicht zu erfassen sind. Hingegen darf oft nicht direkt der Schluss gezogen werden, die geräumte Kubatur entspreche nun genau der Geschiebefracht. Auch muss bei einem

Vergleich mit der theoretischen Transportkapazität im Oberwasser abgeklärt werden, wie weit das abgelagerte Material dem Sohlenmaterial dieser Strecke ähnlich ist. Damit die erfassten Kubaturen weiter analysiert werden können, sind weitere Beobachtungen respektive Erhebungen notwendig.

● Kornverteilung

Um irgendwelche rechnerische Vergleiche mit dem Transportvermögen der Flussstrecke durchführen zu können, ist die Kenntnis verschiedener charakteristischer Korndurchmesser unumgänglich. Oft ist das abgelagerte Geschiebe bezüglich Kornverteilung mit dem Sohlenmaterial der Oberwasserstrecke nur bedingt identisch, da wegen Sohlenabpflästerung und generellen Entmischungerscheinungen die gröberen Komponenten in der Sohle stärker, in den Ablagerungen weniger stark vertreten sind.

Bei Ablagerungen, welche über dem Wasserspiegel liegen, können durch sogenannte Linienproben die gröberen Komponenten erfasst werden. Beim Ausbaggern sollte es möglich sein, Materialproben (Volumenproben) zu entnehmen, aus denen dann die Kornverteilung bis zu Komponenten von 100 mm Grösse und eventuell darüber durch Siebung bestimmt werden kann.

● Schlammanteil

Bei grossen Geschiebesammlern respektive Baggergruben wird ein grösserer Teil des Volumens durch Feinbestandteile (Sand und Schlamm) aufgefüllt, wenn nach einer Räumung eher kleinere Hochwasserereignisse mit verhältnismässig wenig Geschiebetransport, aber ansehnlichem Schwebstofftransport auftreten. Diese Ablagerungen stellen aber nur einen Bruchteil der gesamten Schwebstofffracht dar, sodass deren Erfassung uninteressant ist. Bei nachfolgenden grösseren Hochwasserereignissen können diese Ablagerungen zum Teil resuspen-

diert werden, wodurch der Platz wieder für die Ablagerung von eigentlichem Flussgeschiebe freigemacht wird. Dieser Vorgang führt jedoch selten zu einer vollständigen Räumung, sodass bei der mechanischen Räumung immer mit einem gewissen Schlammanteil gerechnet werden muss.

5.3 Programm "Geschiebefrachten"

Die Gruppe für operationelle Hydrologie beabsichtigt in Zusammenarbeit mit einer Reihe von Kantonen ein Erfassungs- und Auswertungsprogramm für Geschiebefrachten in schweizerischen Einzugsgebieten durchzuführen. Das Programm kann wie folgt umschrieben werden:

5.3.1 Ziele des Programmes

Durch eine enge Zusammenarbeit von Bundesstellen und Kantonen soll

- die langfristige Erfassung von Geschiebefrachten in Geschiebesammlern sichergestellt
- die Erfassungs- und Auswertemethoden vereinheitlicht
- und die zentrale resp. koordinierte Analyse der Beobachtungen gewährleistet

werden. Die bestmögliche Ausschöpfung des Informationsgehaltes von Erhebungen soll damit sichergestellt werden.

Mit dem gesammelten Datenmaterial soll eine Grundlage für die räumliche und zeitliche Extrapolation von Feststoffdaten sowie für die Eichung von mathematischen Modellen geschaffen werden.

5.3.2 Planung des Messnetzes

Die Gruppe für operationelle Hydrologie legt in Zusammenarbeit mit den betroffenen Kantonen durch Absprache und Begehungen die Messstandorte fest. Als Grundlage dienen die in den Abschnitten

5.1 und 5.2 aufgeführten Grundsätze. Die Beschreibung und Charakterisierung der Einzugsgebiete erfolgt ebenfalls gemeinsam mit den Kantonen. (Siehe Tabelle 5).

5.3.3 Betrieb des Messnetzes

Die Erfassung der Geschiebefrachten erfolgt mit wenigen Ausnahmen durch die Kantone und richtet sich nach den Angaben in den Abschnitten 5.1.5 und 5.2.4. Die Erfassungsmethode und die im Kapitel 5 beschriebenen zusätzlichen Erhebungen werden individuell für die einzelnen Messstellen von der GHO und den Kantonen festgelegt.

Die Datenerhebung ist wie erwähnt so anzulegen, dass sowohl gut fundierte Mittelwerte der Geschiebefracht als auch Extremwerte ermittelt werden können. Wünschenswert wären mindestens 30 Messjahre, damit die Erhebungen sinnvoll statistisch ausgewertet werden können.

Die erhobenen Daten sollen auf einheitlichen Meldeformularen festgehalten werden.

5.3.4 Bearbeitung und Auswertung der Daten

Sammelstelle sämtlicher Daten (beschreibende Daten, Messdaten, aufbereitete Daten, analysierte Daten) ist die LHG.

Die Stellen, welche die Beobachtungen durchführen, liefern die Daten jährlich auf dem Meldeblatt (siehe Tabelle 5) an die LHG. Diese speichert dieselben und stellt die Daten den Kantonen und den GHO-Mitgliedern zu Verfügung.

5.3.5 Ergänzende Untersuchungen

Es ist vorgesehen, parallel zur Datenerhebung, schrittweise spezielle Studien durchzuführen, die der Verbesserung der Aufnahmetechnik, der Beurteilung von Gewässern und Einzugsgebieten, der Analyse der Daten und der allgemeinen Kenntniserweiterung auf dem Gebiet des Geschiebetransportes gewidmet sind.

Tabelle 5 Meldeblatt für die Geschiebefrachten

Programm "Geschiebefrachten"

MELDEBLATT

Datum:

Erhebungsinstitution

Name:.....
Adresse:.....
.....
.....

Erhebungsort

Name der Messstelle:
Lage der Messstelle: LK 1:25000, Blatt Nr.:
Koord. :/
Name des Gewässers :

- Ablagerungsplatz : Geschiebesammler
 Ablagerung in Flussabschnitt
 Delta

Erhebungsmethode

- Schätzung der Fracht
 Räumkubaturen/Baggerungen
 Anzahl Lastwagen
 Wägung der Lastwagen
 Vermessung
 Profilaufnahmen
 Photogrammetrische Aufnahme
 Andere Methode:

Erhebungsfracht

- Jahresfracht
 Mehrjahresfracht
 Fracht eines Extremereignisses

Total : m³
Geschätzter Anteil Geschiebe : m³
Geschätzter Anteil Schwebstoffe : m³
Geschätzter Anteil Holz/Geschwemmsel :m³

Erhebungszeitpunkt/periode

.....

Die angegebene Fracht fiel in der Zeit vom
bisan.

Ursachen

- seltenes Extremereignis
- mehrere Geschiebeschübe
- Gewitter/Starkniederschläge
- Dauerregen
- Ufer/Hangrutschungen
- Verklausungen
- Sperrenbruch
- Regulierung von Stauräumen

.....
.....

Zusätzliche Erhebungen

Wurden zusätzliche Erhebungen durchgeführt?

- ja nein

Liegen Schätzungen zu den Niederschlägen und Abflüssen vor?

- ja nein

Wenn ja bitte Resultate beifügen.

Bemerkungen

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Unterschrift

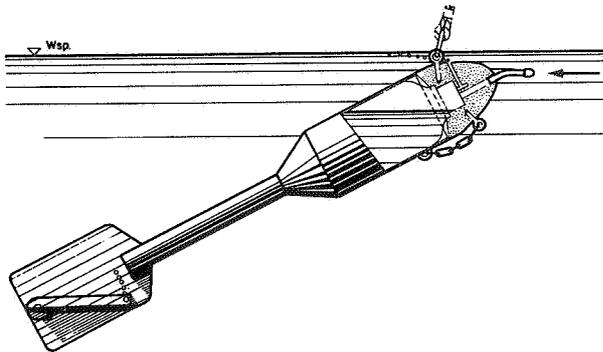
ANHANG I

Technische Beschreibung von Messgeräten

Technische Beschreibung von Messgeräten

1. Geräte für manuelle Probenahme

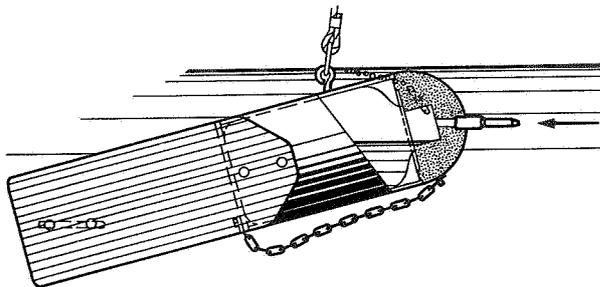
a) Entnahmegerät an Leine, 1961, (SGL)



- Hersteller: LHG
- Technische Daten:
 - Gewicht : ca. 6 kg
 - Länge : ca. 80 cm
 - Düsen-Ø : 5 mm
 - Flaschentyp : Polyäthylen
 - Inhalt : 1 Liter
- Einsatzmöglichkeit:
Ausschliesslich für Punkt-
messungen in Oberflächen-
nähe.

- Bemerkung: Infolge seiner ungenügenden Stabilität im Wasser sind Messungen bei Fließgeschwindigkeiten $> 2,5$ m/s kaum mehr möglich. Das Gerät wird deshalb seit 1970 nicht mehr verwendet.

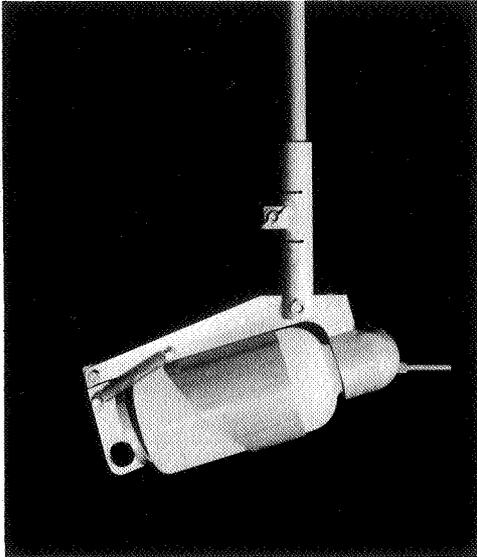
b) Entnahmegerät an Leine, 1970, (SGLN)



- Hersteller: LHG
- Technische Daten:
 - Gewicht : ca. 8 kg
 - Länge : ca. 38 cm
 - Düsen-Ø : 4 mm
 - Flaschentyp : Polyäthylen
 - Inhalt : 1 Liter
- Einsatzmöglichkeit:
Ausschliesslich für Punkt-
messungen in Oberflächen-
nähe.

- Bemerkungen: Gute Stabilität im Wasser. Kann für Entnahmen bei Fließgeschwindigkeiten $> 2,5$ m/s verwendet werden.

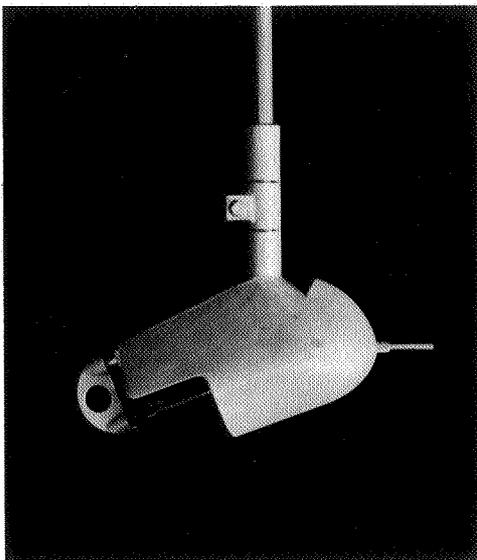
c) Entnahmegerät an Stange, SGS, M266 D/10



- Hersteller: LHG
- Technische Daten:
 - Gewicht : ca. 1,3 kg
 - Länge : ca. 33 cm
 - Düsen-Ø : 5 mm
 - Flaschentyp : Polyäthylen
 - Inhalt : 1 Liter
- Einsatzmöglichkeit:
Für Punktmessungen in Oberflächennähe und tiefenintegrierende Entnahmen verwendbar.
- Bemerkungen: Das Gerät ist hauptsächlich für tiefenintegrierende Probenahmen konzipiert. 20 Jahre Erfahrungen bei der LHG haben gezeigt, dass das Gerät vor

allem bei Bächen mit alpinem und hochalpinem Charakter mit Erfolg eingesetzt werden kann.

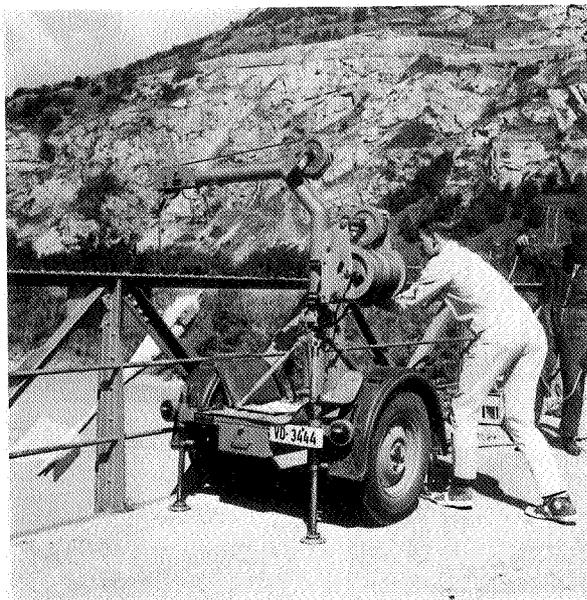
Entnahmegerät an Stange, US - DM 48



- Hersteller: Fonderie Peret *)
- Technische Daten:
 - Flügelgew. : ca. 0,8 kg
 - Länge : ca. 30 cm
 - Düsen-Ø : 5 mm
 - Flaschentyp : Glas
 - Inhalt : 1/2 Liter
- Einsatzmöglichkeit:
 - Ähnlich wie Modell SGS der LHG
- Bemerkungen:
* Ausschliesslich für das Laboratoire d'hydraulique de l'EPFL in einem einzigen Exemplar hergestellt.

A N H A N G I

e) Turbidisonde NEYRPIC (1960)



- Hersteller: Neyrpic,
Grenoble (F)

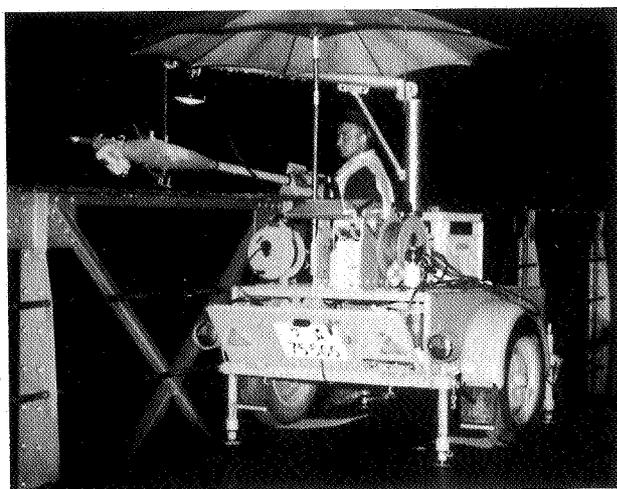
- Technische Daten:
- Flügelgew. : 90 kg
- Länge : 160 cm
- Düsen \varnothing : 7 mm
- Flaschentyp : Glas
- Inhalt : 1 Liter

- Einsatzmöglichkeit
Für Punktmessungen über die ganze Wassertiefe sowie für tiefenintegrierende Entnahmen, von einer Strassenbrücke aus verwendbar.

Bemerkungen: Durch das Hohlkabel, an welchem die Sonde hängt, wird die Kammer der Probeflasche mit Pressluft versorgt.

Handhabung: Minimum 2 Bedienungsleute, 1 Motorfahrzeug, 1 Kompressoraggregat, und ein Anhänger, auf welchem die Apparaturen montiert sind.

f) Messwagen der LHG (1967)



- Hersteller: LHG

- Technische Daten:
- Flügelgew. : ca. 60 kg
- Länge : 188 cm
- Düsen- \varnothing : 4 mm
- Flaschentyp : Polyäthylen
- Inhalt : 1 Liter

- Einsatzmöglichkeit: Wie oben

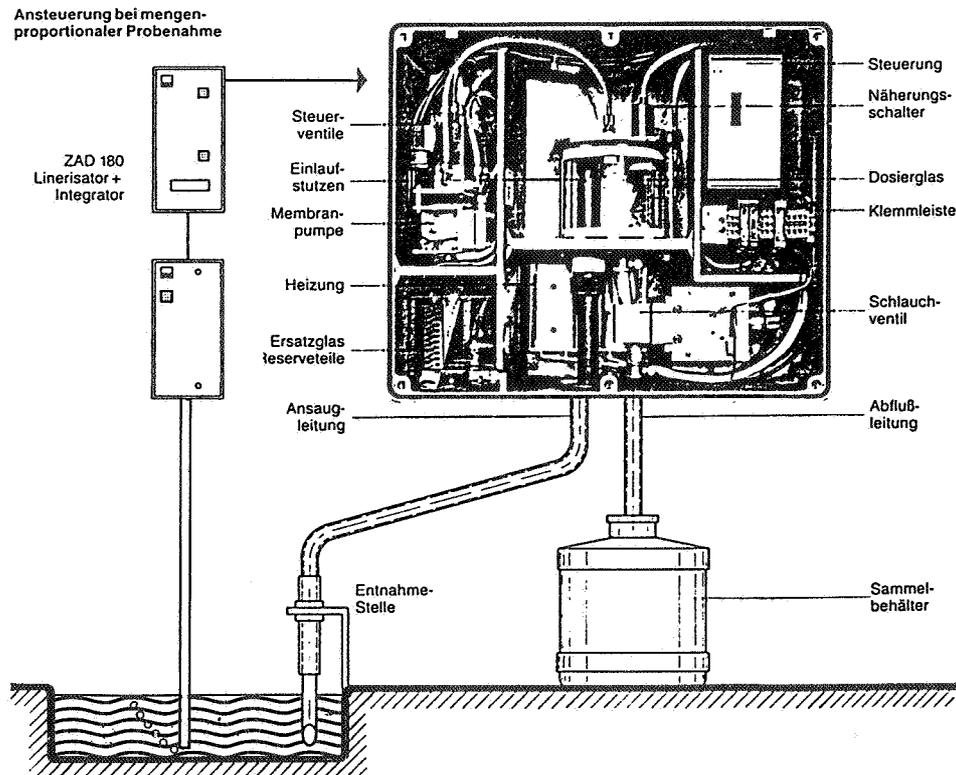
- Bemerkungen: Die Apparatur kann gleichzeitig auch für Wassertemperaturmessungen dienen. Ebenfalls möglich ist die Durchführung von Fließgeschwindigkeitsmessungen, indem anstelle des

Entnahmegerätes ein hydrometrischer Flügel montiert wird.

- Handhabung: Minimum 2 Bedienungsleute, 1 Motorfahrzeug, 1 220V-Notstromgruppe, 1 elektrischer Motorkran (220 V) zum Senken und Heben des Flügelgewichts, 2 Probeentnahmegeräte mit elektrisch gesteuerter Klappe, Steuerpult und Fernbedienungskabel.
Die Senk- bzw. Hebegeschwindigkeit ist stufenlos regulierbar.

2 Geräte für die automatische Entnahme von Wasserproben

a) Automatisches Wasserproben-Entnahmegerät ASP 9260



Schema eines automatischen Wasserproben-Entnahmegerätes, wie es beispielsweise an einem Wildbach eingesetzt werden kann.

Hersteller: Endress und Hauser, 4153 Reinach, BL

Technische Daten:

- Gehäuseabmessungen : H x B x T: 410 x 485 x 197 mm
- Gewicht : 15 kg
- Umgebungstemperatur: - 20 bis + 50° C
- Versorgungsspannung: 220 V oder auch 24 V
- Gesamtleistung : max. 200 VA
- Probevolumen : 10 - 500 ml
- Saughöhe : max. 6 m
- Schlauchlänge : max. 30 m
- Steuerung : abflussproportional mittels ZAD180 und Druckmessgeber

Funktion

Vom fliessenden Bachwasser führt eine Schlauchleitung mit Filterkorb (Maschenweite 1.2 mm) zum Probenahmegerät. Ein Druckgeber ermittelt den Wasserstand an der Probenahmestelle. Ein Steuerkabel übermittelt die Wasserstände dem Probenahmegerät, welches die Wasserstände laufend in Abflussmengenwerte umrechnet. Dies ermöglicht eine abflussproportionale Steuerung der Probenahmefrequenz.

Die Probenahme durchläuft immer einen vorgegebenen Zyklus, der wie folgt zusammengefasst werden kann: Zu Beginn bläst die Membranpumpe die Ansaugleitung leer, anschliessend wird frisches Bachwasser in das Dosierglas gepumpt. Sodann wird die nicht benötigte Wassermenge via Ansaugleitung ausgeblasen. Es bleibt das vorgewählte Probevolumen im Dosierglas. Dann öffnen sich sowohl Schlauchventil zur Leitung in den Probenbehälter wie Entlüftungsventil. Jetzt fliesst die Probe in den Sammelbehälter.

b) Automatisches Wasserproben-Entnahmegerät ISCO 1600

Hersteller: Instrumentation Specialities Co, P.O. Box
5347 Lincoln. Nebraska 68505 USA,

Vertrieb CH: Instrumenten-Gesellschaft AG, Postfach,
8045 Zürich

Technische Daten: Höhe: 54 cm; Durchmesser: 50 cm; Gewicht
(leer): 18 kg.

Stromquelle: 12 V-Ni/Cd Akku oder ab Netz (mit Netzge-
rät). Akku gewährleistet etwa 4 Stunden
Pumpbetrieb.



Funktion

Probeentnahme durch Pumpen (peristaltische Pumpe) über Ansaugstutzen und Schlauch 7 mm \varnothing Max. Saughöhe (beim Standardgerät): ca 5 m. Max. Anzahl Proben: 28 (0,5-Liter-Polyäthylenflaschen). Um das Probenvolumen zu erhöhen, können auch bis 4 Flaschen nacheinander gefüllt werden. Zeitabstand zwischen den Proben: Wählbar von 0 bis 24 Stunden. Durch Koppelung mit einem Flow-meter kann auch abflussproportional gemessen werden.

3. TRÜBUNGSMESSUNG

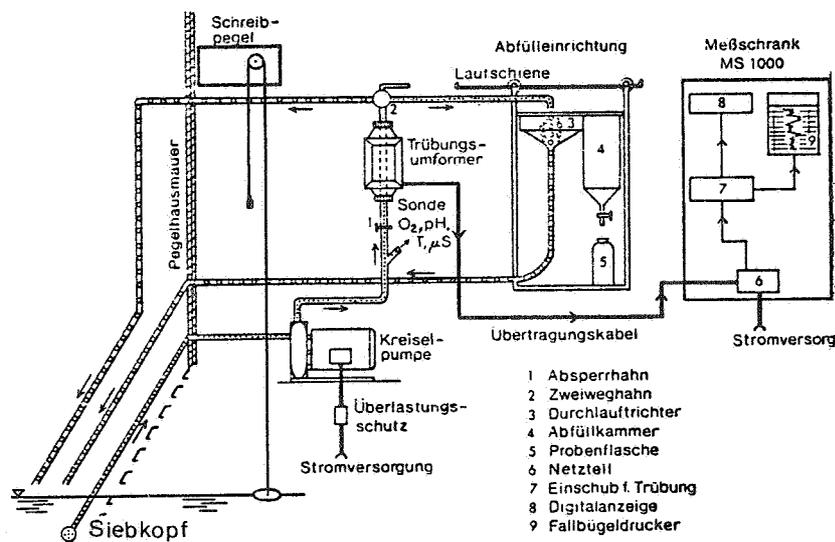
a) Kontinuierliche Trübungsmessung mit gleichzeitiger Entnahme von Wasserproben zur Konzentrationsbestimmung

Trübungsmesser GTU 702

Hersteller: BBC-Metrawatt

Funktion

Die Anlage ist an der Dreisam (Schwarzwald) in einem Standard-Pegelhaus des Wasserwirtschaftsamtes Freiburg, BRD untergebracht. Das Probenwasser wird kontinuierlich aus dem Fluss entnommen (Kreiselpumpe) und durch die Messküvette (\varnothing 32 mm) des Trübungsmessers gepumpt. Hier wird die Trübung photoelektrisch nach dem Prinzip der direkten Streulichtmessung (90°) ermittelt. Ueber einen Zweiweghahn kann das zirkulierende Probenwasser angezapft und ein beliebiges Quantum für Analysenzwecke gewonnen werden.



Messanordnung und -aufbau für die Wasserstands-, Trübungs- und Schwebstoffmessung an der Dreisam (Pegel Ebnet) (n. ENGELSING & NIPPES 1979). [4]

b) Kontinuierliche Trübungsmessung und periodische Wasserprobenentnahme im Abfluss einer Staustufe

Tauchsonde TSG 90/60

Hersteller: Eur-Control

Vertrieb (CH): Eur-Control Marketing SA, C.p. 310
1006 Lausanne

Funktion

Die Photometeranlage ist im Turbinenauslauf der Lech-Staustufe 1 (Forgensee) der Bayrischen Wasserkraftwerke AG installiert. Die Tauchsonde (TSG (90/60)) funktioniert nach dem Vierstrahl-Wechsellicht-Verfahren, welches eine rechnerische Elimination von Störeinflüssen (Verschmutzung, Alterung etc.) erlaubt. Die Probenahmen zur Bestimmung von Feststoffkonzentrationen erfolgen manuell (Schöpfflasche) durch das KW-Personal.

ANHANG II

Begriffserklärungen und Definitionen

BEGRIFFSERKLÄRUNGEN UND DEFINITIONEN

(Alluvial) Alluvial:

Qui se rapporte aux alluvions déposées par un courant ou un écoulement.

Alluvial:

Bezieht sich auf Alluvionen, die durch Strömungen (oder Abflüsse) abgelagert wurden.

(Alluvial deposit) Dépôt alluvial:

Argiles, limons, sables, graviers et autres sédiments déposés par l'eau s'écoulant ou se retirant.

Alluviale Ablagerungen:

Tone, Silte, Sande, Kiese und andere Sedimente, die durch fliessendes oder sich zurückziehendes Wasser abgelagert wurden.

(Alluvial fans) Cônes de déjection:

Dépôts en vrac de matériaux rocheux en forme de segment de cône qui se forment par suite d'une diminution soudaine de pente sur un cours d'eau, en particulier au débouché d'un affluent dans la plaine d'inondation du cours d'eau principal. Connus aussi sous la dénomination de (Alluvial cones).

Bachkegel:

Kegelförmige Ablagerungen von Gesteinsschutt; entstanden infolge plötzlicher Abnahme des Gefälles oder am Austritt eines Seitengerinnes im Haupttal.

(Alluvial stream) Cours d'eau à lit mobile:

Cours d'eau dont le lit est composé de quantités notables de sédiments transportés par l'écoulement, changeant en général de forme selon les variations de l'écoulement.

Gerinne mit beweglicher Sohle:

Gerinne, dessen Bett aus grossen Mengen von transportiertem Sediment besteht und dessen Geometrie (Form und Lage) sich in Funktion der Abflussvariationen verändert.

(Alluvium) Alluvions:

Terme général désignant tout dépôt détritique résultant du transport (récent) de sédiments par les cours d'eau, c'est-à-dire les sédiments déposés dans le lit des cours d'eau, dans les plaines d'inondation et les cônes de déjection des torrents au pied des montagnes.

Alluvionen:

Allgemeiner Ausdruck für die Umschreibung aller rezenten Ablagerungen, die auf den Transport durch fliessendes Wasser zurückzuführen sind, d.h. alle Sedimente, in Gerinnen, in Ueberschwemmungsebenen und in Bachkegeln.

(Bed load) Charge de fond:

Matériaux se déplaçant sur ou près du fond par roulage, glissement et s'élevant parfois, brièvement, au-dessus du lit sur une hauteur égale à quelques diamètres (charriage et saltation).

Geschiebe:

Feststoffanteil, der entlang der Sohle rollend, gleitend, manchmal auch kurzzeitig springend (einige Korndurchmesser hoch) transportiert wird.

(Bed load discharge) Transport de fond:

Quantité de matériaux de fond traversant une section en travers par unité de temps.

Geschiebetransport:

Geschiebemenge, welche während einer Zeitspanne durch einen Gerinnequerschnitt transportiert wird.

(Bed material) Matériaux de fond:

Mélange des sédiments dont le lit est composé. Les particules des matériaux de fond peuvent se déplacer momentanément ou dans des conditions d'écoulement futures.

Sohlenmaterial:

Mischung der die Sohle eines Gewässers bildenden Sedimente. Die Partikel des Sohlenmaterials können momentan oder unter zukünftigen Abflussbedingungen in Bewegung sein.

(Concentration of sediment by weight) Concentration en poids des sédiments:

Rapport du poids de matière sèche d'un mélange eau-sédiments au poids du mélange. Lorsque cette concentration en poids a été déterminée d'abord en parties par million (ppm), on peut la convertir en milligramme par litre (mg l^{-1}) grâce au tableau 7.6.

Gravimetrische Sedimentkonzentration:

Verhältnis von Trockengewicht (eines Wasser-Sedimentgemisches) und Gemischgewicht. Nach Bestimmung dieser Gewichtskonzentration in "Teilen pro Million" (ppm), kann die Konzentration im mg/l mit Hilfe von Tabellenwerten (Tabelle 7.6) ermittelt werden.

(Concentration of sediment by volume) Concentration des sédiments en volume:

Rapport du volume des matières sèches dans un mélange eau-sédiments au volume du mélange.

Volumetrische Sedimentkonzentration:

Verhältnis von Trockenvolumen (eines Wasser-Sedimentgewichtes) und Gemischvolumen.

(Deposition) Depôt:

Processus chimiques ou mécaniques par lesquels s'accumulent par places les sédiments.

Ablagerung:

Chemische oder mechanische Prozesse, die eine (örtliche) Akkumulation von Sedimenten verursachen.

(Depth-integrating sediment sampler) Préleveur de sédiment par intégration sur une verticale:

Appareil que l'on déplace verticalement à une vitesse à peu près constante de la surface jusqu'à quelques centimètres au-dessus du fond. Il recueille un échantillon pondéré par le débit du mélange eau-sédiments puisqu'il se déplace sur la verticale à une vitesse sensiblement constante.

Tiefenintegrierendes Schwebstoffproben-Entnahmegerät:

Entnahmegerät, das im Vertikalprofil mit möglichst konstanter Geschwindigkeit von der Oberfläche bis wenige cm über die Sohle bewegt wird. Damit wird eine ausgeglichene Probeentnahme gewährleistet.

Echelles des tailles des particules
Skala der (Partikel-) Korngrößen

Echelle AGU* / Skala AGU*		mm	Echelle URSS / Skala UdSSR		mm	
Rochers	: Très grands/Sehr gross	4000 - 2000	Rochers	: Grands/Gross	1000 - 500	
Blöcke	: Grands/Gross	2000 - 1000	Blöcke	: Moyens/Mittel	500 - 200	
	: Moyens/Mittel	1000 - 500		: Petits/Klein	200 - 50	
	: Petits/Klein	500 - 250				
Galets	: Gros/Grob	250 - 130	Galets	: Gros/Grob	100 - 50	
Geröll	: Petits/Klein	130 - 64	Geröll	: Moyens/Mittel	50 - 20	
				: Petits/Klein	20 - 10	
Graviers	: Très grossiers/Sehr grob	64 - 32	Graviers	: Grossiers/Grob	10 - 5	
Kies	: Grossiers/Grob	32 - 16	Kies	: Moyens/Mittel	5 - 2	
	: Moyens/Mittel	16 - 8		: Petits/Klein	2 - 1	
	: Fins/Fein	8 - 4				
	: Très fins/Sehr fein	4 - 2				
		mm			mm	
Sable	: Très grossier/Sehr grob	2.000 - 1.000	Sable	: Grossier/Grob	1 - 0.5	
Sand	: Grossier/Grob	1.000 - 0.500	Sand	: Moyen/Mittel	0.5 - 0.2	
	: Moyen/Mittel	0.500 - 0.250		: Fin/Fein	0.2 - 0.1	
	: Fin/Fein	0.250 - 0.125				
	: Très fin/Sehr fein	0.125 - 0.062				
Limons	: Grossier/Grob	0.062 - 0.031	Limons	: Très grossiers/Sehr grob	0.1 - 0.05	
Silt	: Moyen/Mittel	0.031 - 0.016	Silt	: Moyens/Mittel	0.05 - 0.01	
	: Fin/Fein	0.016 - 0.008		: Petits/Klein	0.01 - 0.005	
	: Très fin/Sehr fein	0.008 - 0.004				
Argile	: Grossière/Grobkörnig	0.004 - 0.0020	Argile	: Normal/Normal	0.01 - 0.005	
Ton	: Moyenne/Mittel	0.0020 - 0.0010	Ton:	: Fin/Fein	0.005 - 0.001	
	: Fine/Fein	0.0010 - 0.0005				
	: Très fine/Sehr fein	0.0005 - 0.00024				

*AGU = American Geophysical Union

A N H A N G II

0.0002	0.0006	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	200	600	2000 mm
ECH. USA AGU USA-Skala AGU														
Clay			Silt			Sand			Gravel			Cobbles	Boulders	
ECH. URSS UdSSR-Skala														
Clay	Fine silt		Coarse silt		Sand		Gravel		Pebbles		Boulders			
ECH. Française Française Skala														
Argile		limon		Sable fin		Gros sable		Gravier		Cailloux		Blocs		
ECH. Britannique (British Std). Britische Skala														
Clay		Silt			Sand			Gravel			Cobbles	Boulders		
ECH. Allemande (DIN) Deutsche Skala														
Ton		Schluff			Sand			Kies			Steine	Blöcke		
ECH. Suisse Schweizerische Skala (nach Schweiz. Normenvereinig. (SNV))														
Tonfraktion		Silt			Sand			Kies			Steine	Blöcke		
0.0002	0.0006	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	200	600	2000 mm

Comparaison des échelles nationales des tailles des particules
(d'après différentes sources, A. Sundborg, 1980).

Vergleich der nationalen Korngrößen-Skalen
(nach verschiedenen Quellen, A. Sundborg, 1980).

Facteurs de conversion de la concentration en parties
par million (ppm) en milligrammes par litre*

Faktoren für die Umrechnung von Konzentrationen
in ppm in mg/l*

Gamme de concentration en 1000 ppm	Facteur de conversion	Gamme de concentration en 1000 ppm	Facteur de conversion	Gamme de concentration en 1000 ppm	Facteur de conversion
Konzentrationsbereich in 1000 ppm	Umrechnungsfaktor	Konzentrationsbereich in 1000 ppm	Umrechnungsfaktor	Konzentrationsbereich in 1000 ppm	Umrechnungsfaktor
0 - 7.95	1.00	153 - 165	1.11	362 - 380	1.30
8.0 - 23.7	1.01	166 - 178	1.12	381 - 398	1.32
23.8 - 39.1	1.02	179 - 191	1.13	399 - 416	1.34
39.2 - 54.3	1.03	192 - 209	1.14	417 - 434	1.36
54.4 - 69.2	1.04	210 - 233	1.16	435 - 451	1.38
69.3 - 83.7	1.05	234 - 256	1.18	452 - 467	1.40
83.8 - 97.9	1.06	257 - 278	1.20	468 - 483	1.42
98.0 - 111	1.07	279 - 300	1.22	484 - 498	1.44
112 - 125	1.08	301 - 321	1.24	499 - 513	1.46
126 - 139	1.09	322 - 341	1.26	514 - 528	1.48
140 - 152	1.10	342 - 361	1.28	529 - 542	1.50

* La densité de l'eau est prise égale à 1000 kg/m³ et la densité relative des sédiments à 2,65. Multiplier la concentration en ppm par le facteur de conversion.

* Die Wasserdichte wird mit 1000 kg/m³ angenommen und die relative Dichte der Sedimente mit 2,65. Multiplikation der Konzentration in ppm mit dem Umrechnungsfaktor.

(Erosion) Erosion:

(1) Processus naturel par lequel les roches et les terres sont pulvérisées au sens large et déplacées ou (2) le décapage de la surface des terres par le détachement et le transport de matériaux des sols et des roches sous l'action de l'eau en déplacement ou sous l'action d'autres agents géologiques.

Erosion:

(1) Natürlicher Prozess durch den Gesteine und Böden im weitesten Sinne zerkleinert und verfrachtet werden. (2) Abtrag der Erdoberfläche durch Ablösung und Transport des Boden- und Gesteinsmaterials durch das abfließende Wasser oder durch andere geologische Vorgänge.

(Fluvial sediment) Sédiments fluviaux:

Matériaux transportés ou en suspension dans les cours d'eau ou déposés par les cours d'eau.

Flussedimente:

In Fließgewässern transportierte oder abgelagerte Feststoffe.

(Gross erosion) Erosion totale:

Total de l'érosion en nappe, en ravines et dans le réseau de drainage d'un bassin versant, exprimé en général en tonnes mais parfois en volume.

Gesamterosion:

Gesamtheit der Erosion (Flächen- und Rinnenerosion) in einem Einzugsgebiet; meist in Tonnen angegeben, manchmal auch volumetrisch.

(Instantaneous sampler) Préleveur instantané:

Appareil permettant de recueillir instantanément un échantillon représentatif de sédiments en suspension dans un cours d'eau en un point donné et à l'instant désiré.

Kurzzeit-Entnahmegerät:

Gerät für die Entnahme von repräsentativen Schwebstoffproben aus einem Fließgewässer, in einem bestimmten Punkt zum gewünschten Zeitpunkt.

(Mechanical analysis) Analyse granulométrique:

Détermination de la distribution des tailles des particules par triage, tamisage ou d'autres moyens de séparation mécanique.

Granulometrische Analyse:

Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Aussortieren, Sieben oder andere Methoden mechanischer Aufteilung.

(Median size or diameter) Taille ou diamètre médian:

Taille de sédiment au-dessous de laquelle 50% du total en poids est composé de particules plus petites. Elle est obtenue graphiquement en relevant le diamètre correspondant au milieu de la distribution granulométrique.

Median-Durchmesser:

Grenzkorngrösse, unterhalb welcher 50 Gewichtsprozent aus kleineren Korngrössen bestehen. Sie wird graphisch ermittelt, indem der Durchmesser in der Mitte der Korngrössenverteilung bestimmt wird.

(Point-integrating sediment sampler) Préleveur de sédiment par intégration ponctuelle:

Instrument servant à prélever un échantillon représentatif du mélange eau-sédiment à une profondeur choisie sur une verticale pendant un temps déterminé.

Gerät für die Entnahme punkt-integrierter Schwebstoffproben:

Gerät für die Entnahme repräsentativer Proben aus einem Schwebstoff-Wassergemisch in einer bestimmten Tiefe während einer bestimmten Zeit (in einem Vertikalprofil).

(Point sample) Echantillon ponctuel:

Echantillon du mélange eau-sédiments prélevé en un seul point avec un appareil à prélèvement, soit instantané, soit par intégration.

Punktprobe:

Probe eines Schwebstoff-Wassergemischs; entnommen an einem einzigen Punkt mit einem integrierten oder Sofortprobenahmegerät.

(Sédiment) Sédiment:

Particules solides, provenant des roches, ou du milieu biologique, qui sont ou ont été transportées par l'eau.

Sediment:

Vom Wasser transportierte oder abgelagerte anorganische oder organische Feststoffpartikel.

(Sediment concentration) Concentration en sédiments:

Rapport du poids de matière sèche au poids de l'échantillon eau-sédiment.

Sedimentkonzentration:

Verhältnis von Trockengewicht zu Gesamtgewicht einer Wasser-Feststoffprobe.

Sediment discharge) Débit solide:

Masse ou volume de sédiments passant dans une section en travers pendant une unité de temps. On peut préciser le terme par des qualificatifs: débit solide en suspension, débit solide de fond ou débit solide total.

Sedimentführung:

Gesamtheit der Feststoffe, die pro Zeiteinheit durch einen Gerinnequerschnitt transportiert wird. Kann unterteilt werden: Schwebstoffführung oder Geschiebeführung.

(Sediment load) Charge solide:

Quantité de matières solides transportées par unité de temps.

Sedimentfracht:

Während einer Zeitspanne transportierte Feststoffmenge.

(Sediment sample) Echantillon de sédiment:

Quantité du mélange eau-sédiments prélevée afin d'estimer: (1) la concentration moyenne de sédiments en suspension, (2) la distribution granulométrique moyenne de sédiments en suspension ou déposés, (3) la masse volumique des sédiments déposés ou (4) d'autres caractéristiques des sédiments.

Sedimentprobe:

Volumen eines Wasser-Feststoffgemischs zur Bestimmung von: (1) Mittlere Schwebstoffkonzentration, (2) Korngrößenverteilung der Schwebstoffe oder Sedimente, (3) Volumenanteil der Sedimente, (4) andere Sedimentcharakteristiken.

(Sediment yield) Apport de sédiments:

Afflux total de sédiments dans un bassin versant ou à un endroit donné pendant une certaine période. Cela concerne aussi bien le transport de fond que les matières en suspension. S'exprime généralement en poids par unité de temps.

Sedimentspende:

Gesamtheit der aus einem Einzugsgebiet oder an einem bestimmten Ort, während einer bestimmten Zeitspanne transportierten Feststoffe. Betrifft sowohl Geschiebe als auch Schwebstoffe.

(Sedimentation) Erosion, transport solide et sédimentation:

Terme recouvrant les cinq processus fondamentaux responsables de la formation des sédiments (1) altération, (2) arrachement, (3) transport, (4) dépôt et (5) diagenèse.

Erosion, Feststofftransport und Ablagerung:

Gesamtheit der Sedimentbildenden Prozesse: (1) Verwitterung, (2) Abtrag, (3) Transport, (4) Ablagerung und (5) Diagenese.

(Suspended-sediment discharge) Débit solide en suspension:

Quantité de matières en suspension traversant une section en travers par unité de temps.

Schwebstoffführung:

Menge der Schwebstoffe, die pro Zeiteinheit durch einen Gerinnequerschnitt transportiert wird.

(Suspended-sediment load) Charge solide en suspension:

Poids de particules en suspension porté en permanence par l'eau.

Schwebstoffbelastung:

Gewicht der permanent in Schwebelast transportierten Feststoffe.

(Suspended-sediment sample) Echantillon de matières en suspension:

Volume du mélange eau-sédiment, représentatif pour la concentration et la répartition granulométrique.

Schwebstoffprobe:

Repräsentative Menge eines Wasser-Schwebstoffgemischs für die Bestimmung der Konzentration und der Korngrößenverteilung.

(Wash load) Wash load, charge du ruissellement:

Partie des sédiments d'un cours d'eau composée des particules les plus petites (généralement moins de 0,062 mm) qui se trouvent en quantité relativement faibles dans le lit. Pratiquement tout le wash load est transporté en suspension presque permanente et son importance dépend avant tout de la quantité des particules fines disponibles pour le cours d'eau hors du réseau de drainage.

Schwemmstoffe:

Ständig in Schwebelast gehaltenes, vorwiegend flussbettfremdes Material (Korngrößen meist kleiner als 0,062 mm).

Weitere Begriffserklärungen finden sich in [19]

ANHANG III

Literaturauswahl

LITERATURAUSWAHL

Schwebstoffe, Messgeräten

- [1] Dijkman, J. (1978): Some characteristics of USP-61 and Delft Bottle Suspended sediment samplers. - Int. Rep. No. 5-78, Delft University of Technology, Dept. of Civil Engineering, Fluid Mechanics Group.
- [2] Göhren, H., Lauch, H. (1972): Entwicklung eines Gerätes zur Dauermessung suspendierter Feststoffe. - Deutsche Gewässerkundl. Mitteilungen, Jg. 16, H. 3
- [3] Lambert, A., Jäggi, M., Peter, W., Smart, G.M.: Ablagerungen und Sedimentationsvorgänge in der Reuss-Stauhaltung Bremgarten-Zufikon. - Mitt. Nr. 67 Versuchsanst. f. Wasserbau, Hydrol. u. Glaziol. ETH Zürich
- [4] Engelsing, H., Nippes, K.-R. (1979): Untersuchung zur Schwebstoffführung der Dreisam.- Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br. 69, 3 - 29.
- [5] Sturm, M., Zeh, U., Müller, J., Sigg, L. & Stabel, H.-H. (1982): Schwebstoffuntersuchungen im Bodensee mit Intervall-Sedimentationsfallen. - Eclogae geol. Helv. 75/3, 579 - 588.
- [6] Bloesch, J. & Burns, N.M. (1980): A critical review of sedimentation trap technique.- Schweiz.Z. Hydrol. 42, 15 - 55.
- [7] Gardner, W.D. (1980 a): Sediment trap dynamics and calibration. A laboratory evaluation.- J. marine Res. 38, 17 - 39.
- [8] Gardner, W.D. (1980 b): Field assessment of sediment traps. - J. marine Res. 38, 41 - 52.
- [9] Jannasch, H.W., Zafiriou, O.C., & Farrington, J.W. (1980): A sequencing sediment trap for time series studies of fragile particles. - Limnol. and Oceanogr. 25, 939 - 943.
- [10] Zeitschel, B., Diekmann, P. & Valmann, L. (1978): A new multisample sediment trap. - Marine Biol. 45, 285 - 288.

Schwebstoffe, Messmethodik

- [11] Giovanoli, F., Dominik, J., Burrus, D. & Vernet, J.-P. (1984): The Rhone river plume in Lake Geneva (Switzerland) - Its spatial evolution during a one year study. - 3rd int. Symp. Interaction between sediments and water, S. 197 - 200.
- [12] Bishop, J.K.B. & Edmond, J.M., (1976): A new large volume filtration system for the sampling of oceanic particulate matter. - J. marine Res. 34, 181 - 198.

Schwebstoffe, Probenanalyse

- [13] Hinrich, H. (1965): Beitrag zur Schwebstoffmessung in Wasserläufen mit Beschreibung eines einfachen Filterverfahrens: Deutsche Gewässerkundl. Mitt., 9. Jahrgang, Heft 3, S. 49 - 60.
- [14] Peters-Kümmerly, B. (1971): Untersuchung über Zusammensetzung und Transport von Schwebstoffen in einigen schweizerischen Flüssen. - Diss. Univ. Bern.
- [15] Müller, G. (1967): Methods in Sedimentary Petrology. - Schweizerbart, Stuttgart.

Schwebstoffe, Auswertung

- [16] Rémy-Berzencovich, E. (1959): Analyse des Feststofftriebes in Flussläufen. - Die Wasserwirtschaft, 1959, 49. Jahrgang, Heft 10, S. 258 - 263

Allgemeines

- [17] Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (1983). Verzeichnis von in der Schweiz durchgeführten Feststoffbeobachtungen, Delta-, Seegrund- und Querprofilaufnahmen. Kapitel V, Zusammenstellung von Arbeiten auf dem Gebiet des Feststofftransportes in schweizerischen Gewässern inkl. Delta-, Seegrund- und Querprofilaufnahmen. (Erhältlich bei der Landeshydrologie und -geologie, Bern).
- [18] Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (1984) Feststoffbeobachtung in schweizerischen Gewässern (Erhältlich bei der Landeshydrologie und -geologie, Bern)

A N H A N G III

- [19] Verzeichnis hydrologischer Fachausdrücke mit Begriffserklärung (d, f, i, e), Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie. (Erhältlich bei der Landeshydrologie und -geologie, Bern)