

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.	69	S. 3–29	12 Abb. 4 Tab.	Freiburg i. Br. Dez. 1979
-----------------------------------	----	---------	-------------------	---------------------------

# Untersuchungen zur Schwebstoffführung der Dreisam

von

**Hendrik Engelsing, München und  
Karl-Rainer Nippes, Freiburg i. Br.**

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung . . . . .	4
2. Einzugsgebiet der Dreisam.	5
3. Problem der Schwebstoffmessung.	8
3.1 Trübungsmessung . . . . .	10
3.2 Schwebstoff- und Trübungsmessung an der Dreisam.	11
4. Darstellung von Einzelereignissen . .	14
5. Beziehung Trübung – Schwebstoff . . . . .	17
5.1 Abhängigkeit der Trübung von der Korngröße	19
5.2 Charakterisierung der Abflußanschwellungen .	21
5.3 Eichkurven Trübung – Schwebstoffgehalt . .	23
6. Folgerungen . . . . .	27
7. Schriftenverzeichnis .	28

## Zusammenfassung

Die Ermittlung des Schwebstofftransports eines Fließgewässers ist für viele Fragestellungen der Wasserwirtschaft von großer Bedeutung. Die Transportrate unterliegt großen zeitlichen Schwankungen. Eine genaue Bestimmung der Gesamtmenge sollte auf der Basis von kontinuierlichen Messungen erfolgen. Während der Schwebstoffgehalt im allgemeinen nur diskret für einzelne Wasserproben bestimmt werden kann, ist eine kontinuierliche Registrierung der Trübung möglich. Am Beispiel von Untersuchungen an der Dreisam, einem Gebirgsbach des südlichen und mittleren Schwarzwaldes, werden Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt, die Schwebstoffführung eines Flusses mit Hilfe der Trübungsmessung zu bestimmen.

## Summary

Case Studies Concerning the Suspended Sediment Transport of the Dreisam River.

The calculation of the suspended sediment transport of a watercourse is significant in the consideration of large parts of water resources management. The rate of transport is extremely variable during the time. An exact evaluation of the total amount should be calculated on the base of continuous measurements. Normally the concentration of suspended sediment can only be determined for discrete samples, however, there is the

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Geogr. HENDRIK ENGELSING, Geographisch. Institut, Luisenstr. 37, 8000 München 2,  
Dr. KARL-RAINER NIPPES, Geographisch. Institut I, Werderring 4, 7800 Freiburg i. Br.

possibility of a continuous recording of the turbidity. Case studies, undertaken at the Dreisam River, which is a small mountain stream in the south and central part of the Black Forest, indicated possible solutions of the evaluation of suspended sediment transport with the aid of turbidity measurements.

## 1. Einleitung

Der Transport von Feststoffen in einem Fließgewässer gehört zu den Fragen der Hydrologie, die für die praktische Wasserwirtschaft von großer Bedeutung sind. Das Vorhandensein von transportfähigem Material und die hydraulischen Verhältnisse bestimmen Art und Ausmaß des Feststofftransportes.

Eng verbunden mit dem Feststofftransport sind die Fragen der Abtragung und der Ablagerung. Während die direkten Auswirkungen durch den Materialtransport nur in wenigen Fällen wie etwa beim Verschleiß von Turbinen unmittelbar zu beobachten sind, können Abtragungs- bzw. Erosionserscheinungen z. B. in Form von Uferabbrüchen und Flußeintiefungen, Ablagerungen beispielsweise bei der Verlandung von Seen, Staustufen und Talsperren in der Natur verfolgt werden. Weniger offensichtlich, wasserwirtschaftlich, hydrologisch und limnologisch aber ebenso bedeutsam sind folgende Erscheinungen bzw. Auswirkungen:

- Veränderung der nutzbaren Wassertiefe in Flüssen, Kanälen, Hafenbecken und Ästuarien;
- Abdichtung von Flußbetten und Verschlammung von Kanälen;
- Aufhöhung von Vorländern in gegliederten Flußprofilen oder als Folge von gelegentlicher Überschwemmungen;
- Notwendigkeit von speziellen Wasseraufbereitungsanlagen (Absetzbecken, Flockulatoren, Filteranlagen) bei der Nutzung von Oberflächenwasser;
- Beeinflussung des Lichtklimas in Flüssen durch Streuung des einfallenden Sonnenlichts und direkte Beeinflussung des Sauerstoffhaushalts durch den Abbau organischer Feststoffe;
- Mittransport von an Schwebstoffe gebundene Schwermetalle und Düngemittel und Anreicherung von Schadstoffen vor allem in Schwermetall-Schwebstoff-Komplexen;
- Eutrophierung von Seen und Talsperren durch einmündende schwebstoffführende Flüsse.

Abtragung, Transport und Ablagerung von Feststoffen sind Vorgänge, die zeitlich sehr starken Schwankungen unterliegen. Die Fließgeschwindigkeit in dem Fließgewässer, die praktisch als die integrierende Größe der hydraulischen Bedingungen angesehen werden kann, wird vielfach als der wichtigste Faktor dieser Vorgänge und ihrer zeitlichen Variabilität angesehen (vgl. z. B. HJULSTRÖM, 1935). Nach Herkunft des Materials muß zwischen künstlichen und natürlichen Quellen unterschieden werden. In dem vorliegenden Beitrag sollen nur die natürlichen Vorgänge berücksichtigt werden. Durch die Wahl des oberen Dreisamgebietes kann die Beeinflussung dieser Erscheinungen durch Abwassereinträge vernachlässigt werden.

## 2. Einzugsgebiet der Dreisam

Die Untersuchungen wurden an der Dreisam, einem kleinen Schwarzwaldfluß durchgeführt. Bis zum Pegel Ebnet am Ostrand der Stadt Freiburg (heute: Stadtteil Ebnet) beträgt das Einzugsgebiet der Dreisam und ihrer Nebenflüsse 257,29 km<sup>2</sup>. Es umfaßt das gesamte Zartener Becken und reicht im Norden bis in die Riedel des Mittleren Talschwarzwaldes, im Osten bis in die Mittlere Schwarzwald-Ostabdachung und im Süden bis zu den höchsten Erhebungen des Südlichen Hochschwarzwalds (s. Abb. 1).

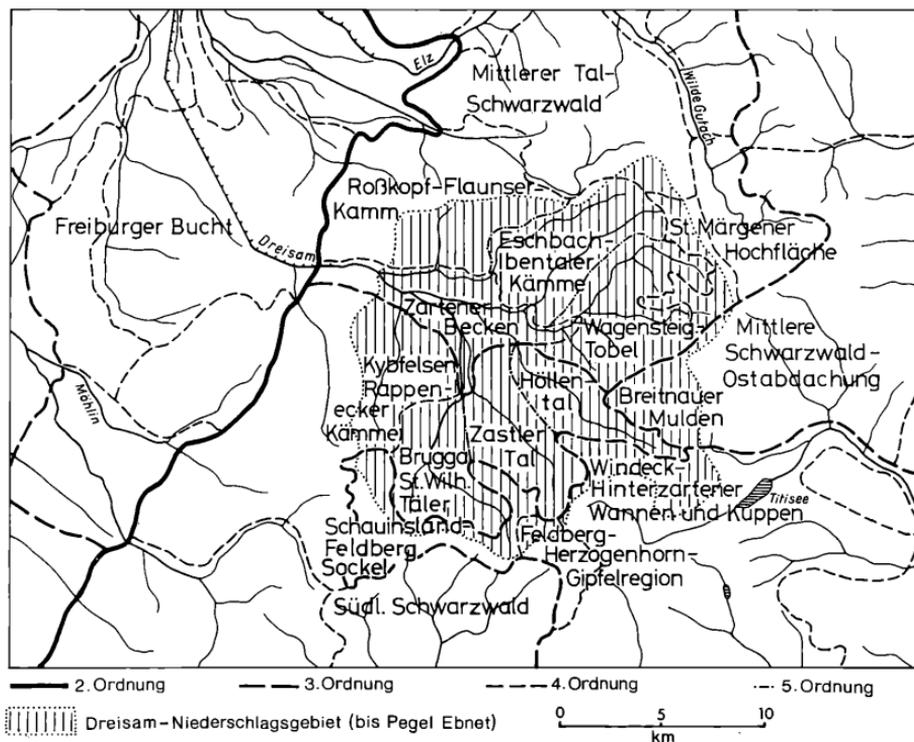


Abb. 1:  
Naturräumliche Einheiten – Dreisamgebiet (n. FISCHER und KLENK, 1967 und REICHELT, 1964).

Das Flußgebiet hat eine fast quadratische Form mit einer axialen Länge von 18,5 km und einer mittleren Breite von 13,9 km. Die mittlere Höhe beträgt 725 m, die absolute Höhendifferenz 1185 m. Mit 1493 m über NN wird am Feld-

berg die größte Höhe erreicht, der tiefste Punkt (Pegelnulld Ebnet) beträgt 308,25 m über NN. Dabei weist das Gebiet eine mittlere Geländeneigung von 13°59' auf (NIPPES, 1971).

Im Zartener Becken laufen die Bäche aus dem umgrenzenden Bergland sternförmig zusammen. Dabei verlaufen die Bäche im Becken selbst, der allgemein nach Westen gerichteten Abdachung folgend, auf großen Strecken noch fast parallel zueinander, bevor sie sich bis Ebnet beim Austritt aus dem Becken vereinigt haben. Hauptfluß ist die Dreisam (weiter oberhalb Rot- bzw. Höllenbach und Zartenbach) mit einer Gesamtlänge von 23,0 km bis Ebnet. Die wichtigsten Zuflüsse sind Ravenna, Wagensteigbach mit Ibenbach und Eschbach von Norden sowie Zastler und Brugga mit St. Wilhelmer Talbach und Reichenbach von Süden.

Bis Ebnet weist das Dreisamgebiet einen Waldanteil von über 50% auf. Während Hänge, Riedel, Bergkuppen und Bergkämme im allgemeinen bewaldet sind, finden sich größere zusammenhängende, landwirtschaftlich genutzte Flächen im Zartener Becken und teilweise in den Tälern, überwiegend Grünlandflächen auf den Hochflächen vor allem im Gebiet St. Peter – St. Märgen – Breitnau – Hinterzarten und in den Talmulden im Gebiet Hofgrund. Die im ganzen dünne Besiedlung (mittlere Einwohnerdichte 1970 rd. 100 Einwohner/km<sup>2</sup>) konzentriert sich auf das Zartener Becken, die unteren Täler und teilweise auf die Hochflächen und höher gelegenen Talmulden. Industrielle Ansiedlungen – mit Ausnahme von einigen kleineren Sägewerken – sind nur in Kirchzarten anzutreffen.

Der mittlere Gebietsniederschlag des Dreisamgebietes beträgt rund 1450 mm pro Jahr. In Ebnet weist die Dreisam einen mittleren jährlichen Abfluß von 5,41 m<sup>3</sup>/s (Periode 1947-1974 (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 1978)) auf. Die mittleren Monatsabflüsse zeigen einen deutlichen Jahresgang mit dem Maximum von 8,18 m<sup>3</sup>/s im April und einem Minimum von 2,89 m<sup>3</sup>/s im September. Im Durchschnitt wird der mittlere Abfluß an 125 Tagen über- und 250 Tagen unterschritten. Die Extremabflüsse können mit 0,0–0,10 m<sup>3</sup>/s für die Niedrigwasserführung und 125 m<sup>3</sup>/s für die höchste Hochwasserspitze während der Beobachtungsperiode angegeben werden.

Die Bäche weisen aufgrund der geringen Besiedlungsdichte, der in den Oberläufen wenig intensiven landwirtschaftlichen Nutzung und infolge der großen Gefälle (Selbstreinigungskraft) einen relativ geringen Verschmutzungsgrad auf. Sie können überwiegend den Güteklassen I–II (gering belastet) und II (mäßig belastet) zugeordnet werden.

In der Zeit von 1975–1978 wurde in diesem Gebiet ein umfangreiches Untersuchungsprogramm durchgeführt, dessen Zielsetzung im wesentlichen in der

SCHWEBSTOFFFÜHRUNG DER DREISAM

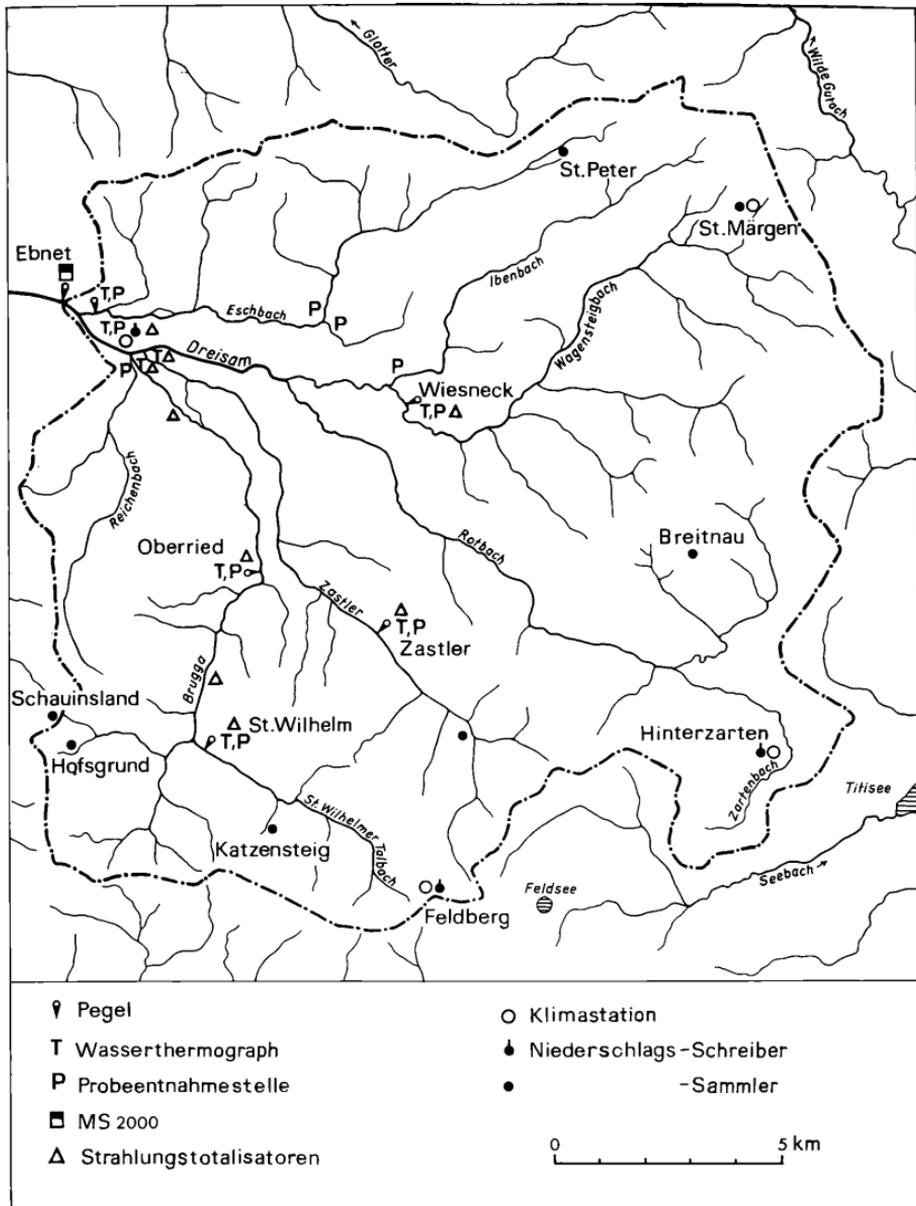


Abb. 2:  
Meßstellennetz Forschungsvorhaben Dreisam.

quantitativen Erfassung verschiedener Wasserqualitätsparameter und deren Veränderlichkeit in wenig belasteten Berglandgewässern lag.<sup>1)</sup>

Neben den meteorologischen Stationen und den Pegeln, die zum offiziellen Meßnetz des Deutschen Wetterdienstes bzw. des Gewässerkundlichen Dienstes von Baden-Württemberg gehören, wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens u. a. registrierende Meßstellen zur Erfassung der Wassertemperatur sowie als Basisstation eine „Monitorstation“ zur Analogaufzeichnung von Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit, pH-Wert und Trübung in Ebnet installiert. Außerdem wurden an 12 Stellen im Einzugsgebiet wöchentlich Wasserproben zur Durchführung von Wasseranalysen entnommen. Abb. 2 gibt einen Überblick über das gesamte Meßstellennetz für das Untersuchungsprogramm.

Im Zusammenhang mit der Veränderlichkeit des Abflusses und der Wasserqualität muß der Schwebstoffführung besonders Augenmerk gewidmet werden. An der Basisstation in Ebnet wurden daher Wasserproben zur Bestimmung des Schwebstoffgehalts und zur Durchführung von Korngrößenanalysen entnommen, um diese Werte mit den Trübungsregistrierungen in Beziehung zu setzen.

### 3. Problem der Schwebstoffmessung

Nach DIN 4049 (DEUTSCHER NORMENAUSSCHUSS, 1954) werden Schwebstoffe als die – meist mineralischen – Feststoffe definiert, die im Wasser schweben, weil sie mit ihm im Gleichgewicht stehen. Demgegenüber werden die Feststoffe, die durch das Wasser am Gewässerbett bewegt werden, als Geschiebe (in der geomorphologischen Literatur: als Geröll) bezeichnet. Die Abgrenzung zwischen Schwebstoff und Geschiebe muß als fließend angesehen werden. Sie wird beeinflusst von

- der Abflußgeschwindigkeit;
- der Turbulenz;
- der Sohlenbeschaffenheit des Gerinnes;
- dem spezifischen Gewicht der Feststoffe;
- dem spezifischen Gewicht und der Viskosität des Wassers.

Da diese Größen variabel sind, schwankt die Grenze zwischen Schwebstoff und Geschiebe sowohl räumlich, d. h. für unterschiedliche Gewässer, wie auch zeitlich, d. h. in Abhängigkeit von den Abflußverhältnissen in einem Fluß. In Tab. 1 ist die Abgrenzung zwischen Schwebstoff und Geschiebe nach verschiedenen Autoren zusammengestellt. Daraus kann verallgemeinert werden,

<sup>1)</sup> Als Forschungsvorhaben „Beziehung zwischen Wasserqualität und Abflußgang – Modellhafte Untersuchung im Einzugsgebiet der Dreisam“ wurden diese Untersuchungen von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt. Projektleitung: Dr. K. Hofius, Dr. K.-R. Nippes; Mitarbeiter: Dipl.-Geogr. H. Engelsing, Dipl.-Ing. H. H. Schmidt, Dipl.-Geogr. G. Strigel, RBD Dipl.-Ing. A. W. Uehlendahl.

daß Kolloidstoffe, Tone und Schluffe (Korngrößen  $< 63 \mu\text{m}$ ) schwebend transportiert werden, während Sand ( $63 \mu\text{m} - 2,0 \text{mm}$ ) in Abhängigkeit von Fließgeschwindigkeit und Turbulenz sowohl schwebend wie auch als Geschiebe transportiert werden kann.

Autor	Jahr	Grenzdurchmesser (in mm)	Bemerkungen
ERTL <sup>1)</sup>	1939	1,000	bayerische Gewässer
INMAN <sup>1)</sup>	1949	0,180	allgemeine Angabe
GALLO/ROTUNDI	1954	0,350	Enoree-River (USA), italienische Flüsse
SUNDBORG <sup>1)</sup>	1956	0,15 0,20	Klarälven (Schwed.)
COLBY	1963	0,062	allgemeine Angabe
EINSTEIN	1964	0,064	Veränderlichkeit des Wertes
KRESSER	1964	0,340 0,350 0,850	Gail bei Rattendorf Donau/Regensburg Donau/Preßburg
MANIAK	1967	0,200	Oker
BURZ	1968	0,200	bayerische Gewässer
Bayerische Landes- stelle für Gewässerkunde	1971	1,000	Maximalwert für Flüsse des Alpenraumes
<sup>1)</sup> zitiert nach BURZ, 1968			

Tab. 1: Abgrenzung zwischen Schwebstoff und Geschiebe nach verschiedenen Autoren (n. ENGELSING, 1977)

Die DIN 4049 bezeichnet Schwebstoffe als „meist mineralischer Natur“ In natürlichen Gewässern finden sich aber durchaus organische Beimengungen vor allem in Form von Pflanzenresten, deren Anteil von den natürlichen Verhältnissen des Einzugsgebiet und der Jahreszeit abhängt. Z. B. konnte FÜGNER (1966) in einem Gletscherbach Spitzbergens keine organischen Beimengungen feststellen, während DORNBUSCH (1965) von 59% organischen Schwebstoffen in der Weißen Elster berichtet.

Aus dieser kurzen Darstellung wird deutlich, daß die Ermittlung des Schwebstofftransports einige meßtechnische Probleme mit sich bringen wird. An den meisten Meßstellen werden stichprobenartig Wasserproben entnommen, deren Trockenrückstand, d. h. der Schwebstoffgehalt oder die Schwebstoffkonzen-

tration, durch Abdampfen, Filtrieren oder Zentrifugieren gewonnen wird. Ohne auf Details einzugehen, kann man erkennen, daß sich diese Verfahren wenig eignen, die kurzfristigen Veränderungen zu erfassen. Dieser Fragestellung versucht man u. a. durch den Einsatz registrierender photoelektrischer Trübungsmesser gerecht zu werden.

### 3.1 Trübungsmessung

Betrachtet man einen kleinen, wenig belasteten Gebirgsbach, kann man bei fast allen Abflußanschwellungen eine „größere Trübung“ beobachten. Dabei bezeichnet man als Trübung einer Flüssigkeit, die durch ungelöste Beimengungen in der Flüssigkeit hervorgerufen werden, deren Eigenschaft, eingestrahktes Licht zu streuen (DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN, 1975). Der Grad der Trübung hängt überwiegend von der Belastung der Flüssigkeit durch suspendierte Feststoffpartikel ab. Die Trübung kann zahlenmäßig angegeben werden in Sichttiefe, prozentualer Durchlässigkeit oder in den Einheiten spezieller Standard-suspensionen.

Für eine kontinuierliche Messung der Trübung eignet sich besonders die photoelektrische Trübungsmessung mit Hilfe eines Photometers. Diese Verfahren beruhen darauf, daß elektromagnetische Wellen (Wellenbereich 200–1200 nm) in die Meßflüssigkeit eingestrahlt werden. Die elektromagnetische Strahlung kann durch Absorption, Streuung und Brechung an den in der Meßflüssigkeit suspendierten Partikeln beeinflusst werden. Äußerer und innerer photoelektrischer Effekt sind die Voraussetzung dafür, die Strahlungsänderung zu messen und als elektrisches Signal wiederzugeben. Die Größe dieses elektrischen Signals kann als Maß der Partikelkonzentration bzw. Trübung verwandt werden.

Der Grundaufbau einer photoelektrischen Trübungsmeßeinrichtung besteht im Prinzip aus folgenden Bausteinen (s. Abb. 3):

- Stromversorgung;
- Stabilisierte Lichtquelle (z. B. Wolfram-Halogenlampe, Lumineszenzdiode);
- Küvette zur Aufnahme der Meßflüssigkeit;
- Lichtdetektor zur Umwandlung des Lichtsignals in einen Photostrom (z. B. Photodiode, Photozelle);
- Verstärker für den Photostrom;
- Anzeigegerät mit Skala (z. B. Voltmeter, Galvanometer).

Wird die Küvette ständig von der Meßflüssigkeit durchflossen und besteht das Anzeigegerät aus einer Registriereinheit, dann sind die Voraussetzungen für eine kontinuierliche Trübungsmessung gegeben.

Nach der Art der Anordnung von Lichtquelle, Küvette und Lichtdetektor unterscheidet man zwischen Extinktions- und direkter Streulichtmessung. Im

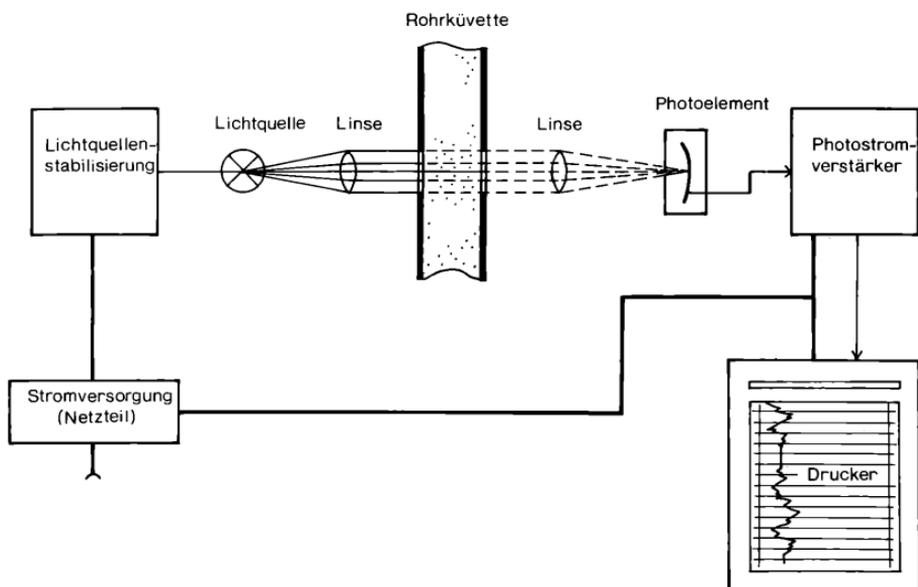


Abb. 3:  
Grundschemata der photoelektrischen Trübungsmessung (n. ENGELSING, 1977).

Fälle der Extinktionsmessung (= indirekte Streulichtmessung oder Turbidimetrie) liegen alle Bauteile in einer Achse. Am Lichtdetektor wird nur das „Durchlicht“ erfaßt. Dabei ist der Lichtstrahl um das Streulicht, das durch diffuse Abstreueung an den suspendierten Partikeln verursacht wird, abgeschwächt. Im Gegensatz dazu wird bei der direkten Streulichtmessung die Intensität des an den Oberflächen der Feststoffpartikel in der Meßflüssigkeit gestreuten Lichtes unter einem bestimmten Winkel, dem sogenannten Streulichtwinkel, gemessen.

Bei den Untersuchungen an der Dreisam stand ein Trübungsmesser zur Verfügung, der nach dem Prinzip der direkten Streulichtmessung mit einem Meßwinkel von  $90^\circ$  arbeitete. Die Angabe der Trübung erfolgt in Trübungseinheiten TE/F, indem das Gerät mit Hilfe chemisch aufbereiteter Formazinsuspensionen kalibriert wurde.

### 3.2 Schwebstoff- und Trübungsmessung an der Dreisam

Unterhalb der Brücke der Bundesstraße B 31 befindet sich am rechten Dreisamufer der Pegel Ebnet, der zum offiziellen Meßnetz des Landes Baden-Württemberg gehört. Im Meßbereich ist das Bachbett gepflastert. Es weist im Querprofil

eine Neigung zum Pegelschacht von 1:50 auf, so daß auch die niedrigen Wasserstände mit ausreichender Genauigkeit erfaßt werden können (Abb. 4). Ein betoniertes Überfallwehr bewirkt relativ hohe Fließgeschwindigkeiten auch während der Niedrigwasserzeiten. Gleichzeitig wird dadurch strömendes Fließen über die gesamte Bandbreite der auftretenden Wasserstände bzw. Abflüsse erreicht.

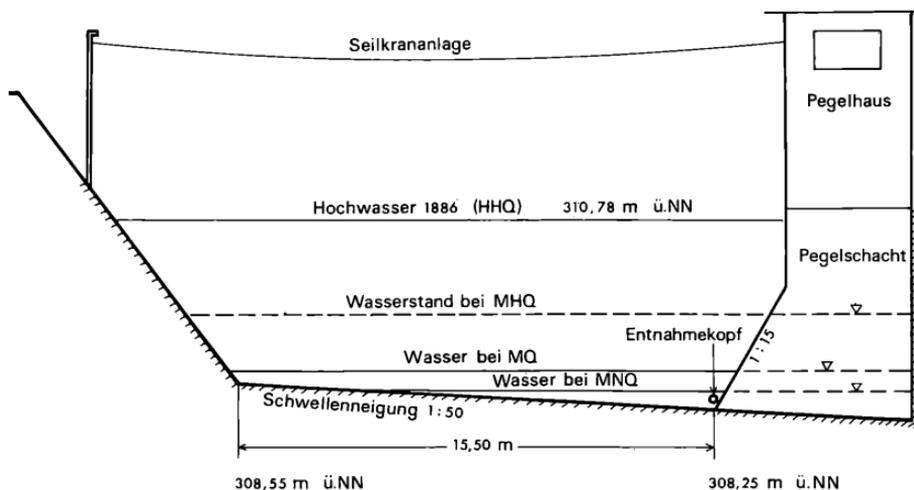


Abb. 4:  
Querprofil der Dreisam in Ebnet mit Pegelanlage (nach Unterlagen des Wasserwirtschaftsamtes, Freiburg).

Für die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprogramms konnten alle Meßeinrichtungen im Pegelhaus untergebracht werden. Die Entnahme des Meßwasserstroms erfolgte mit Hilfe einer Ansaugleitung über dem tiefsten Punkt im Meßprofil der Dreisam ca. 10 cm über der Bachbettssohle (s. Abb. 4).

In Abb. 5 ist der Teil der Meßanordnung, der der Trübungs- und Schwebstoffmessung diene, dargestellt. Neben dem Schreibpegel des offiziellen Meßnetzes (Ott-Horizontalpegel mit 8-Tage-Umlauftrommel) zur Registrierung des Wasserstandes<sup>2)</sup> bestand die Meßeinrichtung aus folgenden Bauteilen:

<sup>2)</sup> Für die Umrechnung des Wasserstandes in den Abfluß standen die jeweils gültigen Abflußkurven der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Wasser und Abfallwirtschaft, zur Verfügung.

- Stromversorgung;
- Entnahmeeinrichtung und Rohrleitungssystem für die kontinuierliche Beschickung der Meßgeräte mit Dreisamwasser;
- Förderpumpe;
- Trübungsmesser (GTU 702 von BBC-Metrawatt);
- Abfüllanlage für die Entnahme von Wasserproben aus dem Meßwasserstrom zur Bestimmung des Schwebstoffgehalts;
- Anzeigergerät (integriert im Meßschrank MS 1000 von WTW) mit Digitalanzeige und Sechspunkteschreiber.

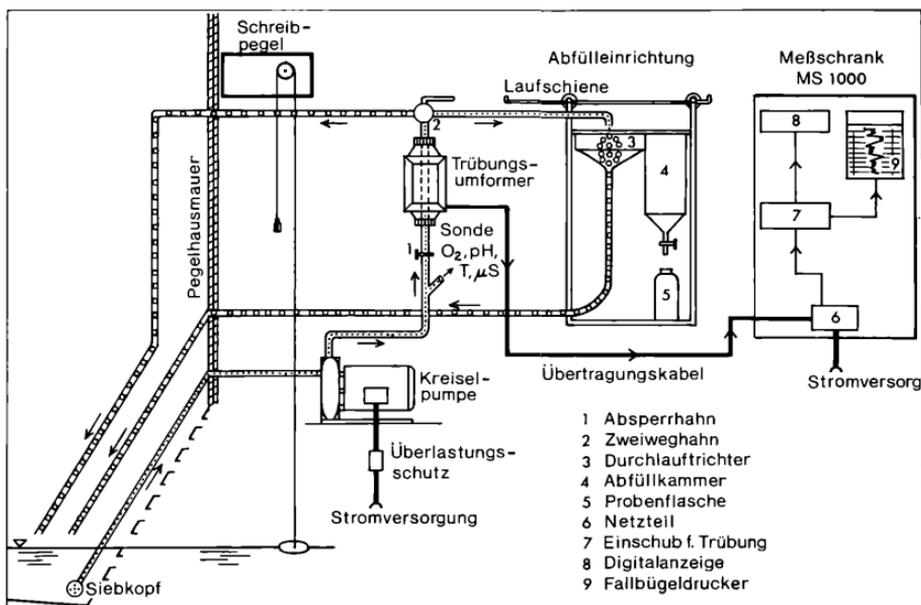


Abb. 5:  
Meßanordnung und -aufbau für die Wasserstands-, Trübungs- und Schwebstoffmessung an der Dreisam (Pegel Ebnet) (n. ENGELSING, 1977).

Dabei mußten und sollten einige Bedingungen erfüllt werden:

1. Das Wasser aus der Dreisam muß bei allen Wasserständen aus der fließenden Welle blasenfrei entnommen werden, da gasblasenhaltiges, aber sonst klares Wasser sehr hohe Trübung vortäuscht.
2. Im Trübungsmesser soll die Fließgeschwindigkeit des Meßwasserstroms — aus Gründen der Selbstreinigung der Meßküvette — nach Herstellerangaben 3,0 m/s betragen. Dies entspricht bei einem Küvettendurchmesser von 32 mm einer Durchflußmenge von 2,4 l/s (145 l/min bzw. 8,7 m<sup>3</sup>/h).

3. Die Entnahme der Wasserproben zur Bestimmung des Schwebstoffgehalts bzw. zur Durchführung von Korngrößenanalysen sollte nach Durchfluß des Trübungsmessers aus dem Meßwasserstrom erfolgen, um Trübungswert und Schwebstoffgehalt in Beziehung setzen zu können.
4. Die Entnahmeeinrichtung mußte die schnelle und häufige Entnahme von Wasserproben im Verlauf von Serienuntersuchungen (Hochwasserwellen) ermöglichen.
5. Die Gesamtanlage sollte möglichst störungsfrei im Dauerbetrieb laufen.

Da es sich um Naturuntersuchungen handelte, konnten nicht immer alle Bedingungen eingehalten werden. Die kritischsten Punkte waren die Stabilität des Entnahmestutzens bei Hochwässern (hohe Fließgeschwindigkeiten und Drücke, Erhöhung des Widerstandes infolge sich aufstauenden Geschwemmels) und die Belastbarkeit der Förderpumpe, wenn die Schwebstoffe gröberes Material (Sand) enthielten.

Das Meßprogramm bestand aus

- der kontinuierlichen Registrierung der Trübung,
- der Entnahme von Wasserproben insbesondere während Hochwasserereignissen zur Bestimmung von Schwebstoffgehalt und Anteil des organischen Materials und zur Durchführung von Korngrößenanalysen und
- der Bestimmung des Wasserstandes zur Ermittlung der momentanen Abflüsse.

#### 4. Darstellung von Einzelereignissen

Während Trübung und Schwebstoffgehalt in Zeiten mit gleichbleibendem Abfluß nahezu konstante, sehr niedrige Werte aufweisen, bedingen selbst kleinere Abflußanschwellungen große Schwankungen dieser beiden Parameter. An zwei Beispielen – je eines aus dem hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahr – soll der zeitliche Verlauf dargestellt werden.

Am 11. Mai 1976 setzte um 3.30 Uhr eine Serie von drei großen Gewitterschauern ein, die bis 7 Uhr an der Niederschlagsstation Ebnet 24,9 mm Niederschlag brachte. An den übrigen Niederschlagsstationen im Dreisamgebiet wurden zwischen 2,3 mm (Hinterzarten) und 47,1 mm (St. Märgen) verzeichnet. Daraus ergibt sich ein mittlerer Gebietsniederschlag von rund 17 mm. Am Pegel Ebnet stieg dadurch verursacht der Abfluß von 1,90 m<sup>3</sup>/s um 3.45 Uhr auf 6,25 m<sup>3</sup>/s um 4.50 Uhr an. Bis 8.40 Uhr, als mit einem Abfluß von 6,40 m<sup>3</sup>/s das Hauptmaximum dieser Abflußanschwellung erreicht wird, ist der Abflußgang durch mehrere Wellen charakterisiert. Danach geht der Abfluß langsam wieder zurück. Dieser Rückgang wird nur durch mehrere kleinere Wellen, die durch erneute Niederschläge verursacht wurden, unterbrochen. Der zeitliche Verlauf von Abfluß, Trübung und Schwebstoffgehalt ist in Abb. 6 dargestellt.

Im Verlauf der ersten Hochwasserwelle steigt die Trübung fast sprunghaft von zunächst 25 TE/F, dann 75 TE/F an. Bereits um 4.45 Uhr wird der Wert

SCHWEBSTOFFFÜHRUNG DER DREISAM

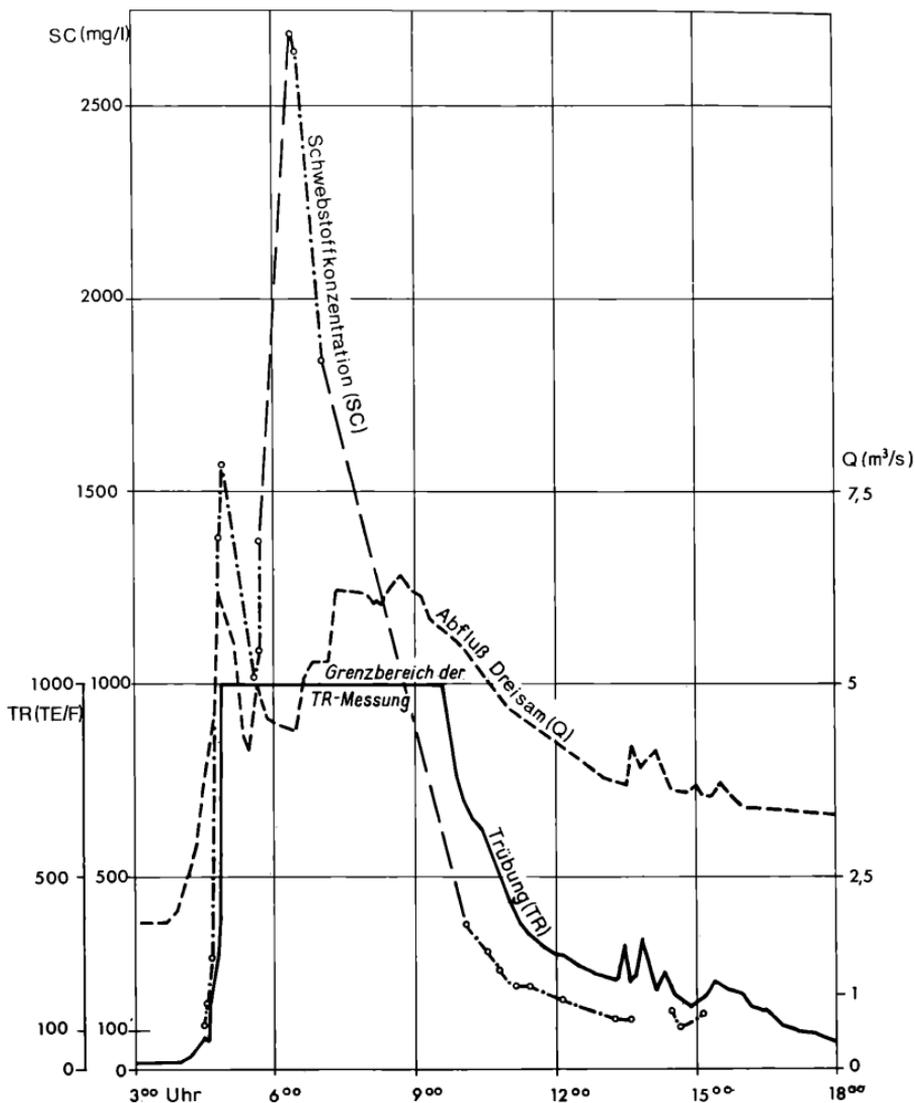


Abb. 6: Gang von Abfluß, Trübung und Schwebstoffgehalt am 11. Mai 1976 (n. ENGELSING, 1977).

1000 TE/F erreicht. Höhere Werte können mit dem eingesetzten Trübungsmesser nicht mehr gemessen werden. Die Übersteuerungsphase dauert bis 9.35 Uhr an. Anschließend ist die Trübung durch eine rasche Abnahme gekennzeichnet. Im gleichen Zeitraum nehmen die gemessenen Schwebstoffgehalte von 118 mg/l um 4.30 Uhr auf 2 679 mg/l um 6.23 Uhr zu, wobei bereits während der ersten Hochwasserwelle kurz vor 5 Uhr 1 570 mg/l erreicht wurden.

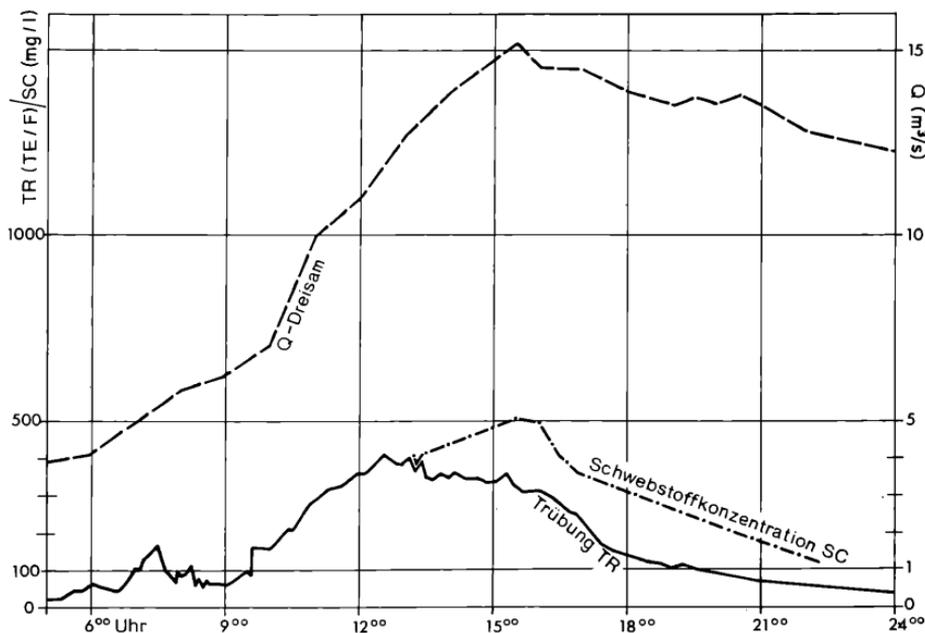


Abb. 7:

Gang von Abfluß, Trübung und Schwebstoffgehalt am 13. Februar 1976 (n. ENGELSING, 1977).

Am 12./13. Februar 1976 fielen über dem gesamten Dreisamgebiet relativ gleichmäßig verteilte Niederschläge (16,1 mm in Breitnau, 33,8 mm auf dem Schauinsland). Während der Niederschlag in den höheren Gebieten als Schnee niederging, wurde er an den tiefer gelegenen Stationen als Schneeregen oder Regen verzeichnet. Der Abfluß der Dreisam stieg von 3,90 m<sup>3</sup>/s am 13. Februar um 5.00 Uhr langsam, aber stetig bis auf 15,2 m<sup>3</sup>/s um 15.30 Uhr an. Danach setzte eine sehr langsame Abflußabnahme ein. Der Gang von Abfluß, Trübung und Schwebstoffgehalt am 13. Februar 1976 ist in Abb. 7 dargestellt. Abgesehen von kleineren Schwankungen zwischen 6 und 9 Uhr nimmt die

Trübung bis zum Maximum von 402 TE/F um 12.35 Uhr zu. Bis zum Erreichen des Abflußmaximums um 15.30 Uhr behält die Trübung bei leichten Schwankungen relativ hohe Werte bei, bevor sie zunächst rascher, dann langsamer auf Werte um 20 TE/F absinkt. Der Schwebstoffgehalt zeigt dagegen ein Verhalten, das bis zum Zeitpunkt des Abflußscheitels einen dem Abflußgang ähnlichen Verlauf zeigt. Nach Erreichen des Maximums von 510 mg/l nimmt der Schwebstoffgehalt zunächst relativ schnell, danach langsamer ab.

Diese beiden Ereignisse könnten durch weitere ähnliche Abläufe ergänzt werden. Sie spiegeln das jahreszeitlich bedingte, charakteristische Verhaltensmuster des Wirkungsgefüges Abfluß – Trübung – Schwebstoffgehalt wider.

Aufgrund dieser Beobachtungen können folgende verallgemeinerte charakteristische Merkmale festgehalten werden (ENGELSING, 1977; NIPPES, 1971):

- Sommerliche, schauerartige Regen verursachen schnelle Abfluß-, Trübungs- und Schwebstoffanschwellungen. Die Maxima aller drei Parameter treten weitgehend zum gleichen Zeitpunkt auf. Nach Erreichen der Maxima fallen Trübungswert und Schwebstoffgehalt wesentlich schneller ab als der Abfluß.
- Bei winterlichen Schnee- und Regenfällen sind gleichmäßige, langsame Zunahmen von Abfluß, Trübung und Schwebstoffgehalt zu beobachten. Die Maxima von Trübung, Schwebstoffgehalt und Abfluß sind zeitlich auseinander gezogen. Dabei liegt das Trübungsmaximum eindeutig vor der Abflußspitze.
- Die Schwankungsbreite sowohl der Trübungs- wie auch der Schwebstoffgehaltswerte ist im Vergleich mit den zugehörigen Abflüssen eindeutig größer.
- Eine eindeutige Beziehung zwischen Trübungswert und Schwebstoffgehalt besteht nicht. Ähnlichkeiten im Verhalten beider Parameter zeigen sich bei getrennter Betrachtung der Einzelergebnisse entsprechend den Jahreszeiten und bei Berücksichtigung der Abflußtendenz (steigend, fallend).

## 5. Beziehung Trübung – Schwebstoff

Der eingesetzte Trübungsmesser GTU 702 arbeitet nach dem Prinzip der direkten Streulichtmessung unter einem Meßwinkel von  $90^\circ$ . Mit Hilfe eines durch die Extinktion gesteuerten elektronischen Regelkreises wird die Intensität der Lichtquelle (Lumineszenzdiode) geregelt. Dadurch wird Linearität in der Beziehung zwischen Streulichtintensität und Partikelkonzentration erreicht. Außerdem wird aufgrund dieser Konstruktion die Messung der Trübung nicht durch die Farbe der Suspension verfälscht.

Dagegen zeigt die direkte Streulichtmessung eine starke Abhängigkeit von der Partikelgröße. In Abb. 8 ist diese Abhängigkeit für Latexpartikel unterschiedlicher Durchmesser aber gleicher Massenkonzentration unter Verwendung von monochromatischem Licht (940 nm) bei einem Streuwinkel von  $\alpha = 90^\circ$ , also einer

Meßanordnung, die dem verwendeten Trübungsmesser entspricht, dargestellt. Danach nimmt die Streulichtintensität bis zur Partikelgröße von  $d = 0,4 \mu\text{m}$  zu, um danach mit zunehmender Partikelgröße kleiner zu werden.

Aus diesen meßtechnischen Voraussetzungen ergibt sich, daß dem Einfluß der Korngrößenzusammensetzung der Schwebstoffe auf die Beziehung Trübung – Schwebstoffgehalt besondere Beachtung zu schenken ist. Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß sich die Aussagen in Abb. 8 auf einheitliche Partikel beziehen, während die Schwebstoffe aus einem Korngemisch bestehen. Aufgrund der Regelung der Lichtquelle dürfte die Partikelfarbe auf die Messung keinen Einfluß haben. Daher wird auch der Anteil organischen Materials auf die Beziehung Trübung – Schwebstoffgehalt nur indirekt – z. B. aufgrund unterschiedlicher Transportvoraussetzungen, jahreszeitlich unterschiedliches Angebot an transportierbarem Material – einwirken.

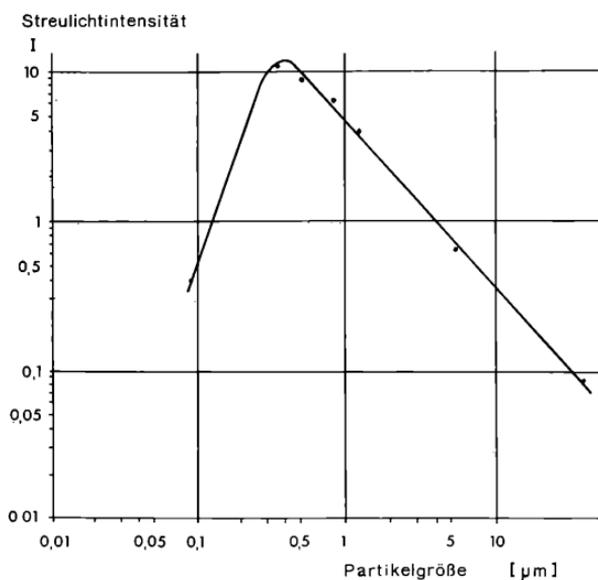


Abb. 8: Beziehung zwischen Streulichtintensität und Partikelgröße bei Verwendung von Latexpartikeln und bei konstanter Massenkonzentration (Wellenlänge der Lichtquelle: 940 nm, Messung der Streulichtintensität unter einem Winkel von  $90^\circ$ ) (n. DELAGO, 1974).

## 5.1 Abhängigkeit der Trübung von der Korngröße

Im Laufe der Untersuchungen sind die Schwebstoffe mehrfach auf ihre Korngrößenzusammensetzung untersucht worden. Dabei reichte die Bandbreite von Ton bis Grobsand. Während der Anteil an Grobsand in allen untersuchten Proben weniger als 1% betrug, lag der Tonanteil zwischen 18,4% und 48,8%, der Schluffanteil zwischen 47,9% und 64,2% und der Feinsandanteil zwischen 1,9% und 14,7%. In Abb. 9 sind die Kornsummenlinien der untersuchten Schwebstoffproben eingetragen.

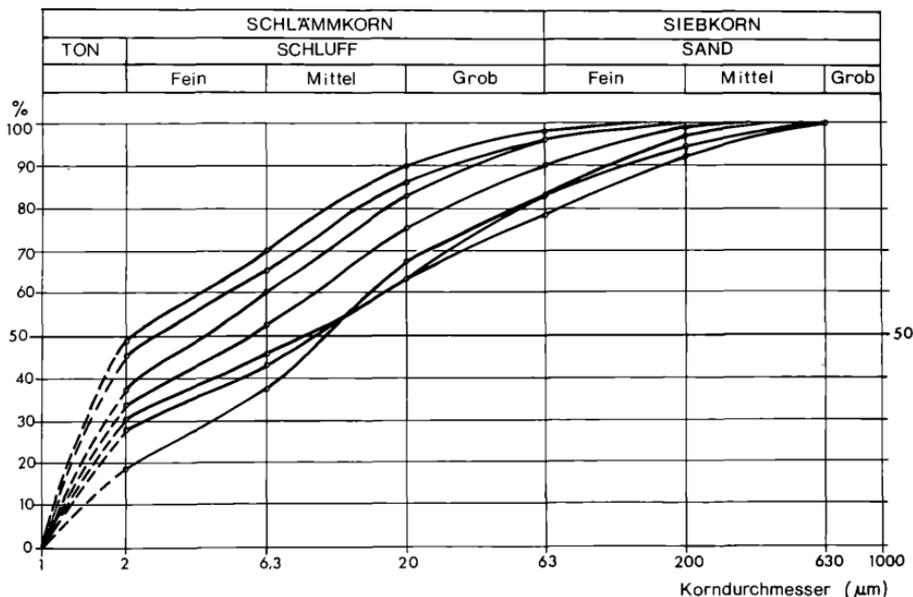


Abb. 9:

Summenkurven verschiedener Schwebstoffproben der Dreisam (n. ENGELSING, 1977).

Der mittlere Korndurchmesser  $d_{50}$  (der Wert für 50% in Abb. 9) schwankte zwischen 2,3  $\mu\text{m}$  und 10  $\mu\text{m}$ . Alle Proben weisen eine schlechte Sortierung auf. Mit größer werdendem Abfluß nehmen mittlerer Korndurchmesser und der Anteil an Feinsand zu, während der Anteil der Tonfraktion gleichzeitig abnimmt (s. Tab. 2). Neben anderen Faktoren dürfte sich in dieser Tatsache die mit zunehmendem Abfluß größer werdende Turbulenz ausdrücken, die einen unmittelbaren Einfluß auf das Transportvermögen hat. ENGELSING (1977) hat

nachgewiesen, daß unter den gegebenen Verhältnissen an der Dreisam der Übergang vom Schweb zum Geschiebe in den Bereich der Mittelsandfraktion (200–630 µm) fällt.

Probe Nr.	Abfluß (m <sup>3</sup> /s)	Abfluß- tendenz	Trübung (TE/F)	Mittlerer Korn- durch- messer d <sub>50</sub> (µm)	Sortie- rung $\sqrt{Q_3/Q_1}$	Anteil Feinsand (%)	Anteil Schluff (%)	Anteil Ton (%)
1	4,78	fallend	480	2,3	2,5	1,9	48,8	48,8
1	5,32	fallend	680	3,1	2,7	2,6	51,9	45,0
5	6,05	fallend	600	4,4	3,0	2,2	59,5	37,7
4	7,98	Scheitel	810	9,4	4,6	12,1	54,7	27,9
6	9,95	steigend	246	5,6	3,7	7,6	56,5	31,0
3	14,5	steigend	480	8,0	5,5	14,1	47,9	37,7
10	18,1	steigend	406	10,0	3,2	14,7	64,2	18,4

Tab. 2: Abfluß, Trübung und Kennwerte der Korngrößenanalyse von Schwebstoffproben der Dreisam.

Trotz der schlechten Sortierung kann der mittlere Korndurchmesser  $d_{50}$  als Kennwert der einzelnen Proben interpretiert werden. Setzt man nun den mittleren Korndurchmesser in Beziehung zur gemessenen Trübung, dann wird das Bild zunächst sehr unübersichtlich. Berücksichtigt man aber gleichzeitig die Abflußtendenz, unter der die Proben entnommen sind, können aber recht gute Tendenzen abgelesen werden (Abb. 10).

Aus diesen Überlegungen heraus können folgende verallgemeinerten Feststellungen festgehalten werden:

- Beim Abflußanstieg ist die Schleppkraft infolge der Hysterese (Hochwasserschleife) größer als im abfallenden Ast der Abflußanschwellung. Dadurch können größere Partikel mittransportiert werden. Aufgrund der Streulichttechnik und des Regelkreises zur Lichtregulierung in dem verwandten Trübungsmesser werden vergleichsweise kleine Trübungswerte angezeigt.
- Während des abfallenden Astes einer Abflußanschwellung wird die Schleppkraft kleiner. Dadurch bedingt wird zunehmend feineres Material transportiert. Je höher der Anteil an Feinmaterial wird, desto größer wird die Gesamtoberfläche der streuenden Partikel pro Einheit. Dies führt zu einer Zunahme der Streulichtintensität.

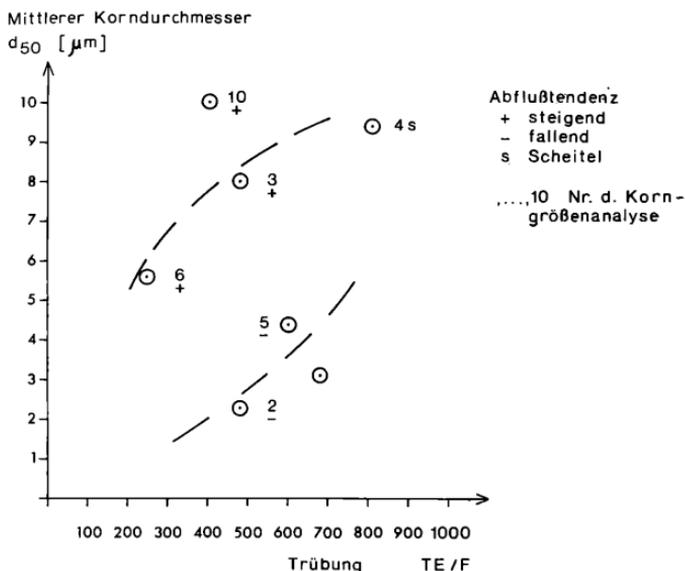


Abb. 10:

Beziehung zwischen Trübung und mittlerem Korndurchmesser d<sub>50</sub> unter unterschiedlichen Abflußverhältnissen (n. ENGELSING, 1977).

Steigende und fallende Wasserstände bzw. Abflüsse zeigen ein unterschiedliches Transportverhalten, deren Ursache u.a. in der Fließgeschwindigkeits-hysterese und damit in der Veränderung der Schleppkraft im Verlauf von Hochwasserwellen zu suchen ist. Aufgrund der dadurch bedingten im allgemeinen unterschiedlichen Materialzusammensetzung und deren Beeinflussung der Trübungsanzeige liegt die Überlegung nahe, daß für steigende und fallende Wasserstände unterschiedliche Beziehungen zwischen Trübungswert und Schwebstoffgehalt zu finden sind.

## 5.2 Charakterisierung der Abflußanschwellungen

Mit den Beispielen in Kap. 4 konnte bereits angedeutet werden, daß die Abflußanschwellungen jahreszeitlich unterschiedliches Aussehen haben. In Anlehnung an frühere Untersuchungen wurden die Abflußanschwellungen des Untersuchungszeitraumes (1.4.1975–31.3.1977) hinsichtlich des Kennwerts „Anstiegsmaß“ untersucht. Dabei wird das Anstiegsmaß definiert als Differenz zwischen Abflußscheitel Q<sub>p</sub> und Abfluß zu Beginn des Anstiegs Q<sub>b</sub> (NIPPES, 1971):

$$\tan\alpha = A = \frac{Q_p - Q_b}{t_p - t_b} \text{ (in m}^3/\text{s}^2 \text{ bzw. 1/s}^2\text{)}$$

Aus Abb. 11 wird deutlich, daß mit diesem Anstiegsmaß A der Steigungswinkel der linearisierten Verbindungslinie  $Q_b - Q_p$  beschrieben wird. Dieser Wert ist unabhängig von der Größe des Abflusses und der Dauer der Hochwasserwelle. Es wird nur ein Maß für die Schnelligkeit der Veränderung gegeben. Da aber Trübung und Schwebstoffgehalt im wesentlichen auf diese Veränderungen reagieren, können diese Betrachtungen Aufschluß über das jahreszeitlich unterschiedliche Verhalten des Abflusses und daraus abgeleitet auch von Trübung und Schwebstoffgehalt geben.

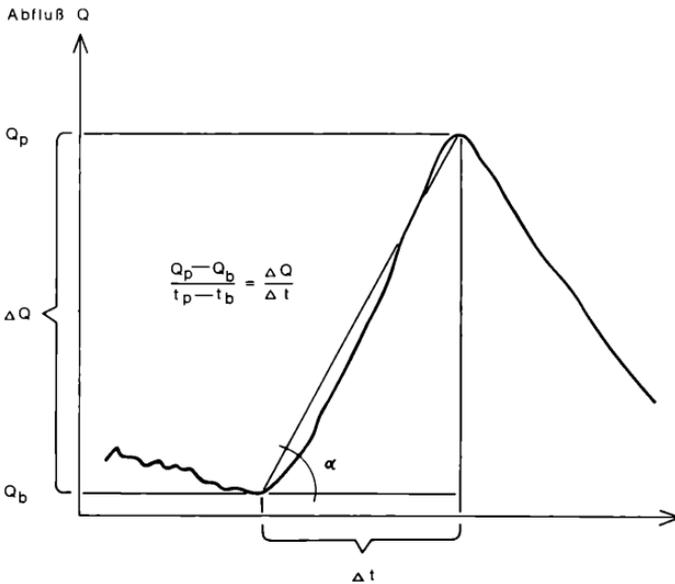


Abb. 11:  
Ermittlung des Anstiegsmaßes A bzw. des Steigungswinkels  $\alpha$  aus der Abflußganglinie (n. NIPPES, 1971).

Über einen Zeitraum von 10 Jahren (1958–1967) konnten die meisten Abflußanschwellungen (rund 2/3 aller Fälle) in den Monaten Februar bis August beobachtet werden (NIPPES, 1971). Im Meßzeitraum lag das Maximum mit 28 und 22 Abflußanschwellungen (für 1975 und 1976 zusammen) in den Monaten Juli und August. Unterdurchschnittlich wenig Abflußanschwellungen traten in den Monaten September, Oktober, November und Dezember (8–15) auf.

In Tab. 3 sind die Abflußanschwellungen des Zeitraums April 1975 bis März 1977 monateweise zusammengestellt. Dabei sind die Werte in Klassen ent-

sprechend der Steigung (Steigungswinkel  $\alpha < 30^\circ$ ,  $\alpha = 30-59^\circ$ ,  $\alpha \geq 60^\circ$ ) unterteilt. Auffallend ist die Tatsache, daß in den Monaten Januar, März, April, Oktober, November und Dezember teilweise weit über 50% der Abflußanschwellungen nur kleine Steigungswinkel aufweisen. In den Monaten Januar, Oktober und Dezember ist keine Abflußanschwellung mit einem Steigungswinkel  $\alpha \geq 60^\circ$  aufgetreten. Andererseits fallen in den Monaten Juli und August über 50% der Anschwellungen in diese Klasse mit Steigungswinkeln  $\alpha \geq 60^\circ$ .

Monat	Abflußanschwellungen						Gesamtanzahl
	0–29°		30–59°		≥ 60°		
	Anzahl	rel. Häufigkeit (%)	Anzahl	rel. Häufigkeit (%)	Anzahl	rel. Häufigkeit (%)	
Januar	14	63,7	8	36,3	0	0,0	22
Februar	8	47,1	8	47,1	1	5,8	17
März	17	85,0	2	10,0	1	5,0	20
April	12	63,2	6	31,5	1	5,3	19
Mai	6	33,3	7	38,9	5	27,8	18
Juni	4	21,5	10	52,5	5	26,4	19
Juli	5	17,9	7	25,0	16	57,1	28
August	1	4,4	9	39,1	13	56,5	23
September	5	38,4	4	30,8	4	30,8	13
Oktober	6	75,0	2	25,0	0	0,0	8
November	8	53,3	6	40,0	1	6,7	15
Dezember	10	71,4	4	28,6	0	0,0	14

Tab. 3: Anzahl und relative Häufigkeit der Abflußanschwellungen April 1975–März 1977.

Die Art der Abflußanschwellungen, ausgedrückt durch das Anstiegsmaß bzw. den Steigungswinkel, sind mitbestimmend für den Verlauf der Geschwindigkeits-hysteresen während dieser Anschwellungen. Daraus resultieren unterschiedliche Verhältnisse für die Schleppkräfte, die einen entscheidenden Einfluß auf die Beziehung Trübung – Schwebstoffgehalt haben.

### 5.3 Eichkurven Trübung – Schwebstoffgehalt

Aufgrund der Überlegungen, die sich auf die Meßtechnik, die unterschiedlichen hydraulischen Verhältnisse und das jahreszeitlich differenzierte Abflußverhalten stützen, wurde der Versuch unternommen, das vorhandene Datenkollektiv von Schwebstoff- und Trübungswerten in Teilkollektive zu unterteilen (ENGELING,

1977). Insgesamt standen knapp 300 Meßergebnisse (Wertepaare Schwebstoffgehalt – Trübung) zur Verfügung. Jeweils etwa die Hälfte dieser Werte wurden während steigender und fallender Wasserstände bzw. Abflüsse gewonnen. Eine Aufteilung in die Kalenderjahreszeiten ergab Teilkollektive von 28 bis 45 Wertepaare jeweils für steigende und fallende Wasserstände bzw. Abflüsse (s. Tab. 4).

Diese Datengrundlage schien ausreichend, unterschiedliche Eichungen der Beziehung Trübung – Schwebstoffgehalt für die 4 Kalenderjahreszeiten (Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter) jeweils für steigende und fallende Abflüsse zu suchen. Mit Hilfe der Regressionsanalyse wurden aus den Teilkollektiven der Wertepaare Trübung ( $TR_i$ ) und Schwebstoffgehalt ( $SC_i$ ) 8 Eichkurven ermittelt. In Anlehnung an die definitionsgemäße lineare Beziehung des verwandten Meßumformers zwischen Trübungssignal und Feststoffkonzentration wurden nur die Regressionsgeraden berechnet.

Jahreszeit	Abflußtendenz	Datenkollektiv n	Korrelations- koeffizient r	Regressions- gerade $SC = a TR + b$	
				a	b
Frühjahr	steigend	33	0,95	0,81	– 11,1
	fallend	45	0,93	0,62	– 10,0
Sommer	steigend	30	0,96	0,69	+ 32,0
	fallend	39	0,93	0,53	+ 3,8
Herbst	steigend	36	0,89	0,90	+ 43,3
	fallend	36	0,92	0,90	+ 0,7
Winter	steigend	34	0,96	1,30	– 25,0
	fallend	28	0,91	1,38	– 9,5

Tab. 4: Datenkollektiv, Korrelationskoeffizienten und Regressionsgleichungen der Eichgeraden für die Beziehung Trübung – Schwebstoffgehalt (n. ENGELSING, 1977).

Diese Vorgehensweise stellt sicherlich eine Vereinfachung dar, da damit nur Teilgesichtspunkte der meßtechnisch bedingten Beziehungen Trübung – Schwebstoffgehalt berücksichtigt werden. Da die zu den Regressionsgleichungen ermittelten Korrelationskoeffizienten zwischen 0,89 und 0,96 lagen, kann die Linearität in den Beziehungen als hinreichend genau angesehen werden. Außerdem bietet die Betrachtung von „Eichgeraden“ den Vorteil, die auftretenden Unterschiede deutlicher in ihrer Tendenz zu erkennen.

Die „Eichgeraden“ haben die Form

$$SC = a TR + b.$$

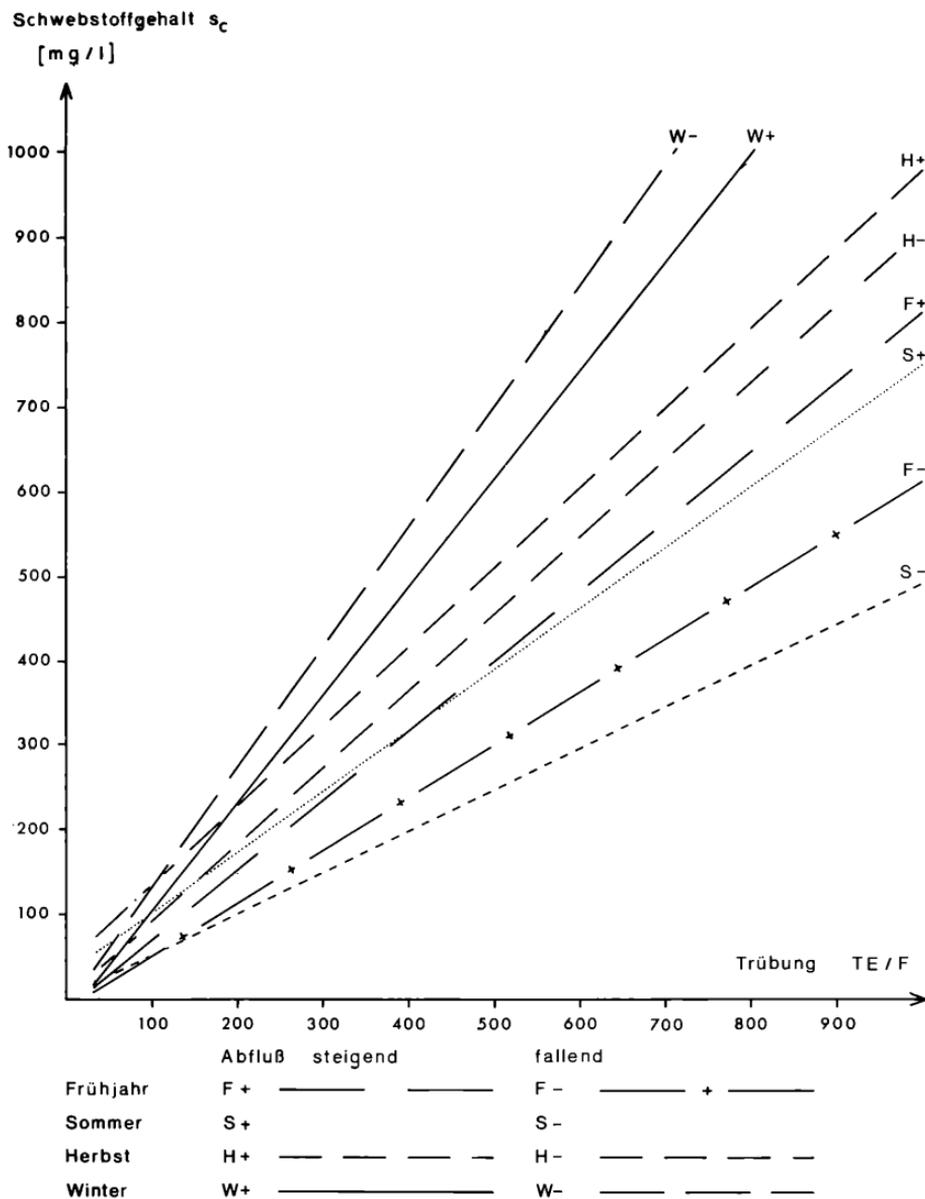


Abb. 12:  
Eichgeraden zur Bestimmung des Schwebstoffgehalts aus der Trübungsanzeige  
(n. ENGELSING, 1977).

In Abb. 12 sind die 8 Eichgeraden für steigende und fallende Abflüsse der 4 Jahreszeiten graphisch dargestellt. Die Zahlenwerte für a (Steigung) und b (Ordinatenabstand) sind zusammen mit den Korrelationskoeffizienten r und dem Umfang des Datenkollektivs, das den Berechnungen zugrunde lag, in Tab. 4 aufgeführt.

In diese Betrachtung gehen nur die Werte ein, für die die Trübungswerte  $\cong 1000$  TE/F betragen, da der verwandte Trübungsmesser keine höheren Meßwerte erlaubte. Bis etwa 25–50 TE/F konnten im allgemeinen keine zugehörigen Schwebstoffkonzentrationen gemessen werden. Die angewandte Labormethode zur Bestimmung des Schwebstoffgehaltes (Filtration von 1 l – Wasserproben) konnte die geringen Werte nicht mehr erfassen. Daher gehen die „Eichgeraden“ nicht durch den Nullpunkt, wie es theoretisch zu erwarten gewesen wäre.

Aus Abb. 12 ergibt sich, daß die einem Trübungswert zuzuordnende Schwebstoffkonzentration von Frühjahr und Sommer über Herbst zum Winter zunimmt. Die maximalen Differenzen treten zwischen fallenden Wasserständen bzw. Abflüssen im Sommer und den Werten des Winters bei gleicher Abflusstendenz auf. Von Frühjahr bis Herbst muß steigendem Abfluß eine höhere Schwebstoffkonzentration als fallendem Abfluß zugeordnet werden. Lediglich im Winter kehrt sich dieses Verhältnis um.

Mit Hilfe dieser Eichgeraden können nun die gemessenen und registrierten Trübungswerte in Schwebstoffgehalt umgerechnet werden. Dabei spiegeln sich in den Eichgeraden die unterschiedlichen Abflußbedingungen und hydraulischen Verhältnisse wider, die z.B. über die dadurch bedingten unterschiedlichen Korngrößenzusammensetzungen der Schwebstoffe einen unmittelbaren Einfluß auf die Beziehung Trübung – Schwebstoffgehalt ausüben.

Unter Schwebstofftrieb versteht man die Menge an Schwebstoff, die pro Zeiteinheit den Flußquerschnitt passiert, und unter Schwebstofffracht die Summe, die in einem Zeitabschnitt durch den Flußquerschnitt bewegt wird bzw. worden ist. Der Schwebstofftrieb ist dann das Produkt aus Abfluß und dem mittleren Schwebstoffgehalt im Abflußquerschnitt. Dabei kann in turbulenten Gebirgsbächen mit ausreichender Genauigkeit davon ausgegangen werden, daß die Schwebstoffe relativ gleichmäßig über das Profil verteilt sind. Die Schwebstofffracht erhält man, wenn man den Schwebstofftrieb über die Zeit des gewählten Zeitabschnitts integriert.

Wenn nun die Wasserstände, aus denen mit Hilfe der Abflußkurven die zugehörigen Abflüsse bestimmt werden, und Trübung, aus der unter Verwendung von Eichkurven der zugehörige Schwebstoffgehalt berechnet werden kann, kontinuierlich aufgezeichnet werden, ist damit das Instrumentarium zur Berechnung des Schwebstofftriebs und der Schwebstofffracht beliebiger Zeitabschnitte gegeben. Da bei den Untersuchungen an der Dreisam 8 Eichgeraden für die Beziehung Trübung – Schwebstoffgehalt gefunden worden sind, muß zur

Berechnung von Schwebstofftrieb und Schwebstofffracht der Abfluß analysiert werden. Nach der Unterteilung in die 4 Kalenderjahreszeiten muß geprüft werden, ob steigende oder fallende Wasserstände bzw. Abflüsse vorliegen. Entsprechend wird die gültige Eichgerade ausgewählt, um aus dem Trübungswert den zugehörigen Schwebstoffgehalt zu bestimmen.

Mit dieser Methodik können nun der Schwebstofftrieb und die Frachtmengen auch kürzerer Zeiträume, wie beispielsweise von Hochwässern, der Dreisam bestimmt werden. Da während der Zeiten mit gleichbleibendem Abfluß oder langsam fallendem Abfluß wenig Schwebstoffe transportiert werden, dürfte eine grobe Schätzung der Frachtmengen für diese Zeiträume ausreichen, da während dieser Zeiten größenordnungsgemäß weniger als 10% der Gesamtfracht transportiert wird (NIPPES, 1971).

## 6. Folgerungen

Mit den vorliegenden Untersuchungen wurde der Versuch unternommen, einen photoelektrischen Trübungsmesser, der nach dem Prinzip der direkten Streulichtmessung arbeitet, für den Einsatz zur kontinuierlichen Erfassung der Schwebstoffführung eines kleinen natürlichen Gewässers zu eichen. Aufgrund der starken Schwankungen, die in der Schwebstoffkonzentration eines Gebirgsbaches auftreten können (Werte zwischen 0,0 mg/l und mehreren g/l), zeigte sich, daß daraus Trübungswerte von weit über 1000 TE/F resultieren können. Daher sollten an Fließgewässern, besonders an kleineren Gebirgsbächen nur Geräte eingesetzt werden, deren Meßbereich von 0–5000 TE/F reicht.

Bei Naturmessungen ist – besonders bei der Streulichtmeßtechnik – kein einfacher Zusammenhang zwischen Trübung und Schwebstoffgehalt festzustellen. Die Berücksichtigung der spezifischen Eigenarten der Streulichtmeßtechnik, die Einbeziehung der Korngrößenzusammensetzung der Schwebstoffe und die Wertung der hydrologischen und hydraulischen Verhältnisse ermöglichen es aber, hinreichend genaue, quantifizierbare Beziehungen zwischen Trübungswert und Schwebstoffgehalt zu finden. Die Messungen haben für die Dreisam ergeben, daß sich diese Beziehung durch 8 Eichgeraden, jeweils für steigende und fallende Wasserstände bzw. Abflüsse in den 4 Jahreszeiten Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter ausdrücken lassen.

Es konnte gezeigt werden, daß die kontinuierliche Trübungsmessung mit handelsüblichen Geräten zur kontinuierlichen Erfassung der Schwebstoffführung grundsätzlich geeignet ist. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen (vgl. z. B. BURZ, 1971) wurde von der Vorstellung einer einzigen Eichkurve abgewichen.

Die gefundenen Ergebnisse, die zunächst nur für die Dreisam in Ebnet Gültigkeit haben, bedürfen einer weiteren Absicherung. Dies kann durch intensiviertere Messungen im Fließgewässer, die dann im wesentlichen der Vergrößerung des Datenkollektivs und der Verbesserung der Meßmethodik dienen, und/oder durch umfangreiche Labormessungen erfolgen. Während die Eichung der

Trübungsmesser seitens der Hersteller nur in standardisierten Vergleichswerten geschieht, könnte im Labor z. B. der Einfluß von Korngrößenverteilungen bei unterschiedlichen Konzentrationen untersucht werden.

## 7. Schriftenverzeichnis

- BAYERISCHE LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE (1971): Anleitung für die Durchführung von Schwebstoffmessungen. — München.
- BURZ, J. (1964): Beitrag zur Klassifizierung der Feststoffe. — Dt. Gew. Mitt., **8**, 29—38.
- BURZ, J. (1968): Abgrenzung der Schwebstoff- und Sohlenfracht. — Veröffentlichungen der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, München.
- BURZ, J. (1971): Erfahrungen mit der photometrischen Trübungsmessung. — Bes. Mitt. z. Dt. Gew. Jb., **35**, 355—364, Koblenz.
- COLBY, B. R. (1963): Fluvial sediments — a summary of source, transportation, deposition and measurement of sediment discharge. — US Geol. Surv. Bull. **1181 A**, Washington, D. C..
- DELAGO, E. (1974): Messung kleiner Trübungen. — ATM-Meßtechnische Praxis, Lieferung **464**, 150—152.
- DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN (1975): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammbehandlung. Trübung. — 7. Lieferung, Weinheim.
- DEUTSCHER NORMENAUSSCHUSS (1954): DIN 4049 Gewässerkunde. Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen. — Berlin und Köln.
- DORNBUSCH, W. (1965): Mengenmäßige Bestimmung von Schwebstoffen mit einer Zentrifuge. — Wasserwirtschaft-Wassertechnik, **15**, 128—132.
- EINSTEIN, H. A. (1964): Sedimentation. — In: V.T. CHOW: Handbook of applied hydrology. 17—1 — 17—67, New York — San Francisco — Toronto.
- ENGELSING, H. (1977): Beitrag zur Schwebstoffmessung mit Hilfe der photoelektrischen Trübungsmessung, dargestellt am Beispiel der Dreisam, Südschwarzwald. — Diplomarbeit, Geographisches Institut I, Freiburg.
- FISCHER, H., H. J. KLENK (1967): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 177 Offenburg. — Naturräumliche Gliederung Deutschlands, Institut für Landeskunde, Bad Godesberg.
- FÜGNER, D. (1966): Die Ermittlung einer Schwebstofffunktion auf Grund von Messungen in einem Gletscherbach. — Wiss. Z. d. TU Dresden, **15**, 1413—1419, Dresden.
- GALLO, G., L. ROTUNDI (1965): Beitrag zum Feststoffproblem (dt. Übersetzung v. J. BURZ). — Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, München.
- GRAF, W. H. (1971): Hydraulics of sediment transport. — New York.
- HJULSTRÖM, F. (1935): Studies on the morphological activity of rivers. — Bull. Geol. Inst. of Uppsala, **25**, 221—527, Uppsala.
- KRESSER, W. (1964): Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstoffführung der Gewässer. — Österr. Wasserwirtschaft, **16**, 6—11.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1978): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch. Sonderheft Land Baden-Württemberg. Abflußjahr 1974. — Karlsruhe.

MANIAK, U. (1967): Geschiebe- und Schwebstoffführung der Oker. — Mitt. Inst. f. Wasser- und Grundbau der TH Braunschweig, **20**, 145—166, Braunschweig.

NIPPES, K.-R. (1971): Die Schwebstoffführung eines Schwarzwaldflusses, dargestellt am Beispiel der Dreisam. — Diss. Freiburg.

REICHEL, G. (1964): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 185 Freiburg im Breisgau. — Naturräumliche Gliederung Deutschlands, Institut für Landeskunde, Bad Godesberg.

SIGRIST, W. (1975): Verwertung neuester Erkenntnisse in der Trübungsmessung, dargestellt am Beispiel des SIGRIST-Photometers. — Vom Wasser, **44**, 187—201.

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE WERKSTÄTTEN (WTW) (1975): Beschreibung und Bedienungsanleitung zum Trübungsmesser TR 710 und zur Durchflußküvette TR/6. — Weilheim.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: [69](#)

Autor(en)/Author(s): Engelsing Hendrik, Nippes Karl-Rainer

Artikel/Article: [Untersuchungen zur Schwebstoffführung der Dreisam 3-29](#)