

DIANE 10
Klein-Wasserkraftwerke

Geschwemmsel bei Kleinwasserkraft- werken

Optimierung der Wasserfassung

*Wasserbauliche Massnahmen zur Verminderung
des Geschwemmselintrages und Informationen
für die Planung, Optimierung und den Betrieb*

Projektbearbeitung und -leitung:

Dr. Ueli Schälchli

*Schälchli & Abegg, dipl. Ing. ETH/SIA
Reinhardstr. 14, 8008 Zürich
Tel.: 01-251 51 74*

Andreas Baumgartner

*Intep AG
Lindenstr. 38, 8034 Zürich
Tel.: 01-383 63 64*

Peter Baumann

*Limmex AG
Schaffhauserstr. 343, 8050 Zürich
Tel.: 01-313 13 00*

1997 / Bestellnr. EDMZ: 805.636 d

Projektleitung DIANE Kleinwasserkraftwerke

*Hanspeter Leutwiler
c/o ITECO Ingenieurunternehmung AG
Alte Obfelderstrasse 68, 8910 Affoltern a.A.
Tel.: 01-761 18 33 / 18*

IMPRESSUM

- Herausgeber: Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern unter Mitarbeit des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Biel und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
- Autoren: Dr. Ueli Schälchli, Schälchli & Abegg, Zürich
Andreas Baumgartner, INTEP AG, Zürich
Peter Baumann, Limnex AG, Zürich
- Projektbegleitung: Arbeitsgruppe Ökologie und Kleinwasserkraftwerke
Dr. Peter Huggenberger, c/o EAWAG, Dübendorf
Dr. Jean-Carlo Pedroli, c/o AQUARIUS, Neuchâtel
- Titelblatt: F. Hartmann, St. Gallen
- Copyright: © Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), 3003 Bern
- Bezugsquellen: Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern
Bestellnr.: 805.636 d (ab August 1997)
- SKAT, Fachstelle der Schweizerischen Entwicklungszusammenarbeit für Technologie-Management,
Vadianstrasse 42, 9000 St. Gallen
- INFOENERGIE Nordwestschweiz (Adresse siehe unten)

Information und Beratung

Information über Fördermassnahmen des Bundes, das DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke und weitere Belange der Kleinwasserkraftwerke erteilen die Beratungsstellen von INFOENERGIE oder die Projektleitung DIANE Klein-Wasserkraftwerke:

INFOENERGIE Ostschweiz
c/o Nova Energie GmbH
FAT, 8356 Tänikon bei Aadorf
Tel. 052-368 34 85, Fax 052-368 34 89

INFOENERGIE Nordwestschweiz
c/o Nova Energie GmbH
Schachenallee 29, 5000 Aarau
Tel. 062-834 03 03, Fax 062-834 20 15

INFOENERGIE Ticino, Centrale di consulenza
sezione protezione aria e acqua, 6500 Bellinzona
Tel. 091-804 37 55/53, Fax 091-804 37 36

Raymond Chenal
Fondation MHyLab, 1354 Montcherant
Tel. und Fax 024-41 36 54

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

VORWORT

Das DIANE 10 Klein-Wasserkraftwerke reiht sich in eine Palette von Fördermassnahmen ein, mit welchen seit über einem Jahrzehnt verschiedene Bundesämter und kantonale Behörden die Aufgabe angehen, das Kleinkraftwerksterben zu stoppen und in einen Wachstumsprozess umzukehren. Diese Aufgabe ist umso schwieriger, als die Kosten für Bau und Betrieb seither weiterhin gestiegen sind und die Umweltauflagen und institutionellen Hindernisse ebenfalls gewachsen sind. Im Rahmen von Energie 2000 sind vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) sieben Projekte zum Durchbruch Innovativer Anwendungen Neuer Energietechniken mit dem Kürzel DIANE gestartet worden. Das DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke hat zum Ziel, die Energieproduktion aus Kleinwasserkraftwerken zu erhalten resp. zu erhöhen, indem stillgelegte und veraltete KWK erneuert und neue Potentiale genutzt werden.

Einer dieser Kostenfaktoren ist der Aufwand für die Rechenreinigung und für die gesetzlich geregelte Entsorgung des Rechengutes. Das durch den Rechen in die Turbine gespülte Geschwemmsel vermindert die Leistung, verursacht Abrasion und ist in Einzelfällen auch schon für schwere Maschinenschäden mitverantwortlich gewesen. Einzelne Anlagen müssen bei hohem Laubanfall abgestellt werden, bei anderen entstehen betriebliche Probleme und höhere Personalkosten. Geschwemmsel erschwert zudem die Anwendung vereinfachter Maschinenkonzepte.

Planer und Betreiber haben demnach ein vitales Interesse, einerseits den Geschwemmsel- und Rechengutanfall voraussehen zu können und in die Konzepterstellung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen einzubeziehen, andererseits das Problem an der Ursache anzugehen, indem durch gezielte Massnahmen verhindert wird, dass grössere Geschwemmselmengen in die Wasserfassung gelangen können.

Die Arbeitsgruppe "Ökologie & Kleinwasserkraftwerke" im DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke hat dieses Problem mit der vorliegenden Grundlagenstudie untersucht und anhand einer umgebauten Wasserfassung in einem Pilotprojekt eine Optimierung der Eintriebsverhältnisse vorgenommen. Die Resultate sind vielversprechend: zeitweise wurde der Geschwemmsel eintrag bis zur Hälfte reduziert. Die Arbeit erlaubt, Kleinwasserkraftwerke bezüglich der Geschwemmselproblematik optimal zu gestalten und die betrieblichen Aufwendungen abzuschätzen.

14. Mai 1997, Hanspeter Leutwiler, Projektleiter DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	5
1.1 Problemstellung	5
1.2 Zielsetzung	6
1.3 Auftrag	6
1.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen	7
1.5 Projektbeschreibung und Berichtaufbau	7
2. Situationsanalyse	9
2.1 Definitionen	9
2.2 Geschwemmselprobleme bei KWK ¹	10
2.3 Aufkommen des Geschwemmsels	12
2.3.1 Methodik	12
2.3.2 Messresultate	15
2.4 Zusammensetzung des Geschwemmsels	23
2.5 Transport des Geschwemmsels	25
2.6 Folgerungen	27
3. Pilotprojekt Wasserfassung KWK Hard	29
3.1 Zustand 1993	29
3.2 Umbauprojekt	31
3.3 Erfolgsmessungen	34
3.4 Betriebliche und energetische Aspekte	36
3.4.1 Ausgangslage	36
3.4.2 Betriebskonzept	37
3.4.3 Betriebswirtschaftliche Aspekte des Umbaus	38
3.4.4 Kosten/Nutzen-Betrachtungen	39
3.5 Folgerungen	40
4. Geschwemmselabweisende Massnahmen bei Wasserfassungen	42
4.1 Massnahmen und deren Wirkung	42
4.2 Betriebliche Empfehlungen	45
4.3 Empfehlungen zur Projektierung	45

¹ KWK = Kleinwasserkraftwerk

ZUSAMMENFASSUNG

Geschwemmselprobleme

Der Geschwemmsel eintrag in Wasserfassungen von Kleinwasserkraftwerken (KWK) kann zu bedeutenden betrieblichen Aufwendungen sowie zu einer Verminderung der Energieproduktion und Maschinenschäden führen.

Gemäss Artikel 41 des eidgenössischen Gewässerschutzgesetzes darf Material, das aus betrieblichen Gründen dem Gewässer entnommen wird, nicht ins Gewässer zurückgegeben werden. Dementsprechend ist das an den Rechenanlagen entnommene Geschwemmsel fachgerecht zu entsorgen.

Die Ansammlung von Geschwemmsel am Rechen führt zu Fliessverlusten, die eine Reduktion der nutzbaren Fallhöhe verursachen. Zudem kann sich feineres Material, das den Feinrechen passiert, an den Turbinenschaufeln ablagern. Diese Effekte führen zu einer Verminderung der Energieproduktion und einer zusätzlichen mechanischen Belastung der Turbine.

Die Situationsanalyse bei 14 KWK zeigte grosse Unterschiede bezüglich der Lage und der Gestaltung der Wasserfassungen, des Geschwemmselaufkommens (v.a. Laubfall), der auftretenden Geschwemmselprobleme (Holz, Laub, Siedlungsabfälle) sowie bei der Entsorgung des entnommenen Materials.

Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Studie besteht darin, zu untersuchen, inwieweit der Geschwemmsel eintrag in Wasserfassungen durch wasserbauliche Massnahmen reduziert werden kann.

Dabei soll überprüft werden, ob durch die effiziente Abweisung des Geschwemmsels bei der Fassung die erwähnten Probleme (betrieblicher Aufwand für die Geschwemmselentsorgung, Energieverluste, übermässige Beanspruchung der Turbine) massgebend verringert werden können.

Geschwemmselaufkommen und -zusammensetzung

Das herbstliche Geschwemmselaufkommen ist abhängig vom Ausmass der gewässerbegleitenden laubabwerfenden Vegetation im Einzugsgebiet und damit von der Höhenlage der Wasserfassung. Bei KWK, die sich in einer Höhenlage über 700 - 900 m ü.M. befinden, spielt die Zufuhr von Laub eine untergeordnete Rolle.

Das Geschwemmselaufkommen eines Fließgewässers im Herbst ist gekennzeichnet durch eine Grundlast (vergleichbar mit dem Basisabfluss einer Abflussganglinie), die bei ansteigendem Abfluss durch extreme Spitzenwerte überlagert wird.

Im Oktober und November besteht das Geschwemmsel zu 70 - 95 % aus Laub (tiefergelegene Gewässerabschnitte). Gegen Ende der Laubfallperiode nehmen die Anteile an Holz und übrigem partikulärem organischen Material (POM) sowie an Siedlungsabfällen zu.

Geschwemmseltransport

Das Geschwemmsel wird vorwiegend in der sohlennahen Abflussschicht und - in den Monaten Oktober und November - auch an der Wasseroberfläche gerinneabwärts transportiert. Im mittleren Abflussanteil beträgt die Geschwemmselkonzentration ca. 50 % der durchschnittlichen Konzentration. Eine Wasserfassung sollte daher so gestaltet werden, dass bevorzugt der mittlere Abflussanteil in die Wasserfassung geleitet wird.

Pilotprojekt KWK Hard

Beim KWK Hard an der Töss bei Winterthur wurde ein Pilotprojekt realisiert, das zum Ziel hatte, den Geschwemmsel eintrag in den Triebwasserkanal durch wasserbauliche Massnahmen bedeutend zu reduzieren. Direktmessungen der Geschwemmselkonzentration in der Töss sowie im Fassungseinlauf zeigten, dass der sohlennahe Abflussanteil bevorzugt in die Wasserfassung geleitet wurde und damit - vor allem ab Mitte November - eine Aufkonzentration des Geschwemmsels im Triebwasserkanal festgestellt werden konnte.

Der Umbau der Wasserfassung beeinflusste die Strömungsverhältnisse in der Töss (bei Nieder- und Mittelwasserabfluss) sowie im eigentlichen Fassungseinlauf. Durch mehrere Einzelmassnahmen (Schütten einer stabilen Kiesbank am Gegenufer der Töss, Umlenksporn, Kragchwelle mit Spülschütze, Tauchwand) wurde versucht, das sohlennahe Geschwemmsel von der Fassung abzulenken und durch eine Spülöffnung ins Unterwasser der Töss zu befördern. Das an der Wasseroberfläche transportierte Geschwemmsel wird durch eine Tauchwand am Eintritt in die Fassung gehindert und regelmässig über die erste (bestehende) Wehrklappe ins Unterwasser gespült.

Die Erfolgsmessungen zeigten, dass mit den realisierten Massnahmen die Geschwemmselkonzentration (und damit auch die Geschwemmsel fracht) gegenüber der ursprünglichen Situation um etwas mehr als 50 % reduziert werden konnte.

Mit der Inbetriebnahme des neuen Fassungsbauwerks hat sich auch der manuelle Aufwand für die Entnahme und Entsorgung erheblich reduziert. Gleichzeitig kann aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit einer jährlichen Produktionssteigerung von 10'000 - 15'000 kWh gerechnet werden, was etwa 1 % der Jahresproduktion entspricht.

Folgerungen und Empfehlungen

Mit der Analyse von bestehenden Lösungsansätzen bei KWK sowie dem Pilotprojekt beim KWK Hard konnte gezeigt werden, dass Geschwemmselprobleme bei KWK durch wasserbauliche Massnahmen an der Wasserfassung bedeutend reduziert werden können. Wegen der unterschiedlichen Randbedingungen (Geschwemmselaufkommen, Strömungsverhältnisse) können jedoch keine Einheitslösungen angegeben werden.

Mit der Untersuchung des Geschwemmselaufkommens, der Geschwemmselzusammensetzung sowie der Strömungsverhältnisse im Gewässer und beim Fassungseinlauf lässt sich abschätzen, inwieweit der Geschwemmsel eintrag durch entsprechende Massnahmen reduziert werden kann. In der Regel führt die Umsetzung einer Kombination verschiedener Einzelmassnahmen zum gewünschten Erfolg.

Der Aufwand für die Projektierung und die Umsetzung eines Fassungsumbaus ist den bestehenden betrieblichen Problemen und dem erwarteten Nutzen anzupassen. Durch einfache Kosten/Nutzen-Berechnungen kann die Wirtschaftlichkeit verschiedener Umbaumassnahmen beurteilt werden. Am Schluss des Berichts sind entsprechende Empfehlungen zur Projektierung formuliert.

1. EINLEITUNG

1.1 PROBLEMSTELLUNG

Kleinwasserkraftwerke (KWK) befinden sich vorwiegend an kleinen oder mittelgrossen Fliessgewässern des Voralpenraums und des Mittellandes. Diese Bäche oder Flüsse entwässern häufig ein intensiv bewirtschaftetes Einzugsgebiet mit laubabwerfender bachbegleitender Vegetation. Durch die Einwirkung von Wind und Regen wird dem Gewässer periodisch viel biologisches Material zugeführt und mit dem Wasser gerinneabwärts transportiert.

Ein kleinerer oder grösserer Teil dieses Materials wird bei KWK gefasst und muss aus technischen Gründen aufgefangen und entnommen werden. Sowohl der betriebliche Aufwand als auch die für die sachgerechte Entsorgung anfallenden Kosten können beträchtlich sein.

Geschwemmsel, das den Feinrechen passiert, kann an den Turbinenschaufeln anhaften und so den Wirkungsgrad reduzieren sowie zu Vibrationen der Turbine führen.

Der periodische und häufig stossweise Geschwemmseltransport in einem Fliessgewässer kann dementsprechend zu den folgenden Problemen führen:

1. Ablagerung und Verkeilung von Geschwemmsel bei der Wasserfassung (regelmässige Wartung und Reinigung mit Pikettdienst).
2. Geschwemmselablagerungen am Feinrechen (grosser manueller Aufwand oder hohe Leistungskapazität der Rechenreinigungsanlage).
3. Grosser betrieblicher Aufwand zur Entnahme, Sortierung und Entsorgung des Geschwemmsels.
4. Hohe Entsorgungskosten (Deponie, Kehrrechtverbrennungsanlage).
5. Verminderte Elektrizitätsproduktion als Folge von Fliessverlusten durch Geschwemmselablagerungen beim Grob- und Feinrechen sowie an den Turbinenschaufeln.
6. Langzeitschäden an Turbinen durch Schwingungen und Vibrationen.

Durch die Zusammenwirkung verschiedener Probleme kann die Wirtschaftlichkeit einer Anlage stark vermindert oder in Frage gestellt werden.

1.2 ZIELSETZUNG

Das Ziel des vorliegenden Projekts besteht darin, die Rentabilität von KWK zu verbessern, indem Lösungen aufgezeigt werden, wie der Geschwemmsel eintrag in Wasserfassungen durch wasserbauliche und betriebliche Massnahmen reduziert werden kann.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden die folgenden Teilaspekte untersucht:

1. Bestimmung der massgebenden Einflussfaktoren des Geschwemmselaufkommens sowie der Geschwemmselkonzentration.
2. Untersuchung der *Transporteigenschaften* des Geschwemmsels in einem Fliessgewässer.
3. Untersuchung der saisonalen Verteilung der Geschwemmselzusammensetzung.
4. Erarbeitung von *wasserbaulichen Massnahmen* zur Geschwemmselabweisung.
5. Erarbeiten von Möglichkeiten für die Optimierung des *Betriebs* von Wasserfassungen.
6. Ausarbeiten von *Empfehlungen* für die Projektierung von geschwemmselabweisenden Massnahmen.

1.3 AUFTRAG

Das Aktionsprogramm "Energie 2000" des Bundes strebt bis zum Jahr 2000 bei der Wasserkraft eine Mehrproduktion von 5 % an. Das DIANE²-Projekt 10 "Klein-Wasserkraftwerke" - als Teilprojekt von Energie 2000 - beinhaltet eine Reihe von Projekten, die primär der Know-how-Ergänzung und -Umsetzung dienen. Die ökologischen (und wasserbaulichen) Fragestellungen werden in drei Projekten bearbeitet:

1. Situationsanalyse Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie (1996)
2. Kontinuität der Gewässer (1997)
3. *Geschwemmselprobleme bei KWK*

Das vorliegende Projekt gliedert sich in die drei Teile:

1. Grundlagenuntersuchung über die Geschwemmselprobleme bei KWK sowie den Stoffhaushalt von Fliessgewässern (Situationsanalyse).
2. Pilotprojekt an einem KWK.
3. Erfolgskontrolle und Ausarbeitung von Empfehlungen.

Finanziert wurden die Teilprojekte 1 und 3 durch das Bundesamt für Energiewirtschaft. Die Kosten für das Pilotprojekt am KWK Hard an der Töss bei Winterthur wurde durch den Anlagebetreiber übernommen und durch den Bund und den Kanton Zürich als Pilot- und Demonstrationsanlage unterstützt.

1.4 GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Das eidgenössische Gewässerschutzgesetz von 1991 regelt die Behandlung des Geschwemmsels ("Treibgut") im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung. Gemäss Artikel 41, Absatz 1, darf Treibgut, das aus betrieblichen Gründen dem Gewässer entnommen wird, nicht ins Gewässer zurückgegeben werden.

Weiter verlangt Artikel 79, dass bauliche Massnahmen zum Einsammeln von Treibgut innerhalb von 5 Jahren nach Inkrafttreten des Gesetzes durch den Inhaber der Stauanlage realisiert werden müssen.

Der Vollzug des Gewässerschutzgesetzes obliegt den Kantonen.

Für den Betreiber eines KWK bedeutet dies, dass alles Material, das an den Rechen anfällt, deponiert, kompostiert oder einer Kehrichtverbrennungsanlage zugeführt werden muss.

1.5 PROJEKTBSCHRIEB UND BERICHTAUFBAU

Der Bericht ist entsprechend dem Auftrag in die folgenden drei Teilbereiche gegliedert:

Kapitel 2: Situationsanalyse³

Kapitel 3: Pilotprojekt KWK Hard

Kapitel 4: Geschwemmselabweisende Massnahmen und Empfehlungen

Die **Situationsanalyse** befasst sich schwerpunktmässig mit dem Geschwemmselaufkommen, der Geschwemmselzusammensetzung und dem Geschwemmseltransport in Fließgewässern. Damit werden die Grundlagen für das Pilotprojekt am KWK Hard sowie für die Empfehlungen von Kapitel 4 erarbeitet.

Zudem wird ein Überblick von Problemen, die im Zusammenhang mit Geschwemmsel bei KWK auftreten, zusammengestellt.

³ Eine ausführliche Zusammenstellung der diversen Erhebungen an KWK sowie der Direktmessungen beim KWK Hard sind im Zwischenbericht "Geschwemmselprobleme bei Klein-Wasserkraftwerken" zusammengestellt. Der Bericht kann beim DIANE-Projektleiter, Hanspeter Leutwiler, c/o ITECO AG, Affoltern a.A., bezogen werden.

Das **Pilotprojekt** am KWK Hard an der Töss bei Winterthur bot die Gelegenheit, die in der Situationsanalyse erarbeiteten Kenntnisse an einem konkreten Fall zu testen. Dabei wurde versucht, die Wasserfassung durch eine Kombination von Massnahmen zu optimieren, so dass der Geschwemmel eintrag und damit die betrieblichen Aufwendungen für die Geschwemmelentsorgung erheblich reduziert werden können. Die Wirkung der umgesetzten Massnahmen wurde durch eine Erfolgskontrolle überprüft.

Im letzten Teil der Untersuchungen werden die erarbeiteten und am Pilotprojekt gewonnenen Erkenntnisse - soweit möglich - verallgemeinert. Es resultieren **Angaben betreffend die geschwemmelabweisende Wirkung wasserbaulicher Massnahmen, Empfehlungen für die Projektierung und zum Betrieb von Wasserfassungen**. Die Empfehlungen sollen für KWK-Betreiber eine Entscheidungsgrundlage sein, ob und wie eine Wasserfassung erstellt oder umgebaut werden soll, damit der Geschwemmel eintrag sowie der Aufwand für dessen Entsorgung minimiert werden kann.

2. SITUATIONSANALYSE

2.1 DEFINITIONEN

Die von einem Fließgewässer transportierten Feststoffe werden unterteilt in Geschwemmsel, Geschiebe, Schwebstoffe und Treibeis (Abbildung 1).

Geschwemmsel (syn. Schwemmgut) besteht aus partikulärem organischem Material (POM) mit einem Durchmesser > 1 mm sowie Siedlungsabfall. Das organische Material setzt sich zusammen aus

- Laub, Nadeln
- Grobholz (Stämme, Äste, Wurzeln)
- Feinholz (Zweige, Holzsplitter)
- Gras, Heu, Spreu
- Moose, Flechten
- Knospenhüllen, Samen
- Algen, höhere Wasserpflanzen
- Kadaver, Leichen

Das Geschwemmsel wird schwimmend, schwebend oder über die Sohle von der Strömung gerinneabwärts transportiert.

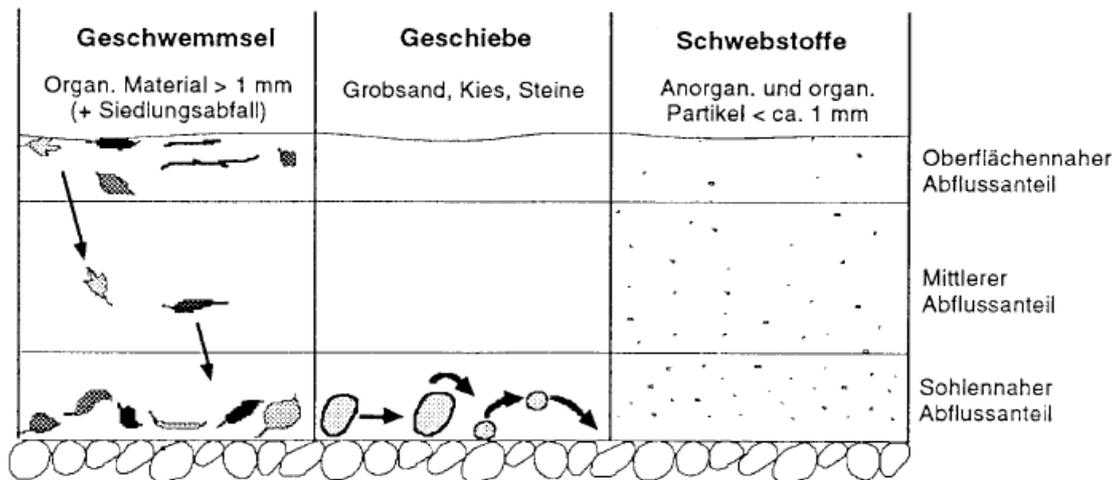


Abbildung 1

Feststoffe (exkl. Treibeis) und ihre Verteilung über die Abflusstiefe. Unterteilung der Wassertiefe in den oberflächennahen, den mittleren und den sohlennahen Abflussbereich.

Geschiebe besteht aus Grobsand, Kies und Steinen, die rollend, gleitend oder springend über die Gewässersohle transportiert werden. Mit dem Transport werden die einzelnen Körner verkleinert, wobei der Abrieb in Schweb übergeht. Der Grenzdurchmesser zwischen Geschiebe und Schwebstoffen ist abhängig von den Strömungsverhältnissen.

Zu den **Schwebstoffen** gehören alle organischen und anorganischen Feinpartikel (Durchmesser < ca. 1 mm), die in Schweb, also über die gesamte Abflusstiefe verteilt, gerinneabwärts transportiert werden.

Treibeis besteht aus Platten und Schollen, die schwimmend mit der Strömung gerinneabwärts transportiert werden.

2.2 GESCHWEMMSELPROBLEME BEI KWK

Das in einem Fließgewässer anfallende und in die Fassung geleitete Geschwemmsel kann zu vielfältigen Problemen führen (vgl. Kapitel 1.1).

Damit die auftretenden Probleme detaillierter untersucht sowie bestehende Lösungsansätze erfasst werden konnten, sind 14 Wasserfassungen besichtigt worden. Tabelle 1 bietet eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse. Die Tabelle zeigt einerseits, an welchen Anlageteilen Probleme auftreten und andererseits welche Feststoffe für die Probleme verantwortlich sind (Laub, Holz, Siedlungsabfall, Geschiebe).

Aus den Besichtigungen und Tabelle 1 lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

1. Wasserfassungen in einer Höhenlage unter ca. 700 - 900 m ü.M.

Alle Feststoffe können zu betrieblichen Probleme führen. Ausserordentliche Schwierigkeiten kann der herbstliche Laubanfall verursachen. Aufgrund der Problemlösung können die besichtigten KWK in drei Kategorien eingeteilt werden:

- A. Regelmässiger Betriebsunterbruch bei hohen Geschwemmsel- (und Geschiebe-) konzentrationen (KWK Netstal, KWK Bärau). Das während dem Betrieb anfallende Geschwemmsel wird fachgerecht entsorgt. Fazit: Bei Verzicht auf die Energieproduktion in Zeiten mit massiv erhöhter Geschwemmselzufuhr kann der verbleibende Geschwemmselanfall mit tragbarem Aufwand bewältigt werden.
- B. Rückspülung des am Feinrechen entnommenen Geschwemmsels in den Vorfluter (KWK Roggwil, KWK Hard, KWK Bätterkinden). Bei einer Überlastung der Rechenanlage wird die Maschine gedrosselt oder der Betrieb vollständig eingestellt. Fazit: Durch die Rückspülung des Geschwemmsels in den Vorfluter während starker Geschwemmselzufuhr kann das KWK zumindest gedrosselt weiter betrieben wer

KWK	FASSUNG	FEINRECHEN	ENTSORGUNG GESCHWEMMSEL	TW ⁴ -KANAL, TURBINE
Linth, Linthal, KWK Bebié AG	Grobholz bei HW	-	Rückspülung	Geschiebeablagerungen TW-Kanal
Linth, Linthal KWK Cotlan AG	Grobholz	-	Rückspülung	Geschiebeablagerungen TW-Kanal
Linth, Hätzingen, KWK Hefti & Co.	Grosse Steine (Geschiebe)	-	Kompostierung oder Deponie	-
Linth, Haslen, KWK Jenny & Co.	Holz bei NW	-	Rückspülung, Brennholz	-
Linth, Netstal, KWK Kalkfabrik	-	saisonal bei HW übermässiger Geschwemmsele anfall (viel Holz)	Deponie (viel Siedlungsabfall)	Betriebsunterbruch bei HW mit viel Geschwemmsele
Ilfis, Bärau, KWK Lauterburg & Cie AG	Geschwemmsele (viel Holz)	Geschwemmsele (im Herbst bei HW)	Deponie	Betriebsunterbruch bei HW mit viel Geschwemmsele und Geschiebe (8-10 d/a)
Emmefassung, Burgdorf, Gewerbekanal	Holz	-	?	Betriebsunterbruch bei HW mit viel Grobholz
Gewerbekanal, Burgdorf, KWK Tiergarten	-	-	Deponie (viel Zivilisationsabfall)	-
Gewerbekanal, Burgdorf, KWK Mühle Dür	-	-	Sortierung, Kompostierung oder Deponie	-
Emmekanal, Bätterkinden, KWK Bätterkinden	Grobholz	Geschwemmsele (Laub im Herbst, Algen- und Makrophyten im Frühling / Sommer)	Deponie, im Herbst (und ev. Frühling) Spülung ins UW	Betriebsunterbruch bei Geschiebeabgrabbungen Kanal (alle 2 Jahre)
Töss, Winterthur, KWK Rieter	-	-	Deponie	-
Töss, Winterthur, KWK Hard (vor Umbau)	Geschiebe	Geschwemmsele im Herbst (v.a. Laub)	Rückspülung (Übergangsregelung)	Betriebsunterbruch bei HW mit viel Geschwemmsele sowie Geschiebeabgrabb. TW-Kanal. Vibrationen Turbine
Etzlibach, Bristen, Fassung KW Amsteg	Geschiebe	-	Deponie	Schliessen der Fassung bei HW- Abfluss (Geschiebe)
Langete, KWK Roggwil	-	automatisch, hoher Geschwemmsele anfall im Herbst	Deponie, Rückspülung im Herbst	?

Tabelle 1 Zusammenfassung der wesentlichen Problempunkte (fett umrandet) bei den besichtigten KWK, verursacht durch den Feststofftransport (Stand 1993).

den. Starke Beanspruchung der Rechenanlagen. Die Rückspülung erfordert eine Ausnahmegewilligung.

C. Optimale Wasserfassung mit geringem Geschwemmseleintrag (KWK Rieter). Das anfallende Geschwemmsele wird fachgerecht entsorgt. Fazit: Durch die Anordnung der Wasserfassung und die lokalen Strömungsverhältnisse wird geschwemmselearmes Wasser gefasst. Die Entnahme und Entsorgung des Geschwemmseles ist - abgesehen von Ausnahmeereignissen - mit tragbarem betrieblichem Aufwand zu bewältigen.

2. Wasserfassungen in einer Höhenlage über ca. 700 - 900 m ü.M.

Geschiebe und Grobholz können erhebliche Probleme verursachen. Geschiebe kann den Grobrechen verstopfen oder im OW-Kanal abgelagert werden. Letzteres führt zu einer Reduktion der Triebwassermenge und damit zu einer Verminderung der Elektrizitätsproduktion. Ferner muss für die Baggerung der Geschiebeablagerungen der KW-Betrieb eingestellt werden. Weiches Geschwemmsele (v.a. Laub) besitzt eine untergeordnete Bedeutung und kann in der Regel gut bewältigt werden.

Bildet **Siedlungsabfall** einen bedeutenden Anteil am Geschwemmsele, so wird das Material entweder in einer Deponie entsorgt oder in der Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt. Die Sortierung des Materials wird zu aufwendig. Die anfallenden Entsorgungskosten können erheblich sein.

2.3 AUFKOMMEN DES GESCHWEMMSELES

2.3.1 Methodik

Für die Erfassung des Geschwemmseleaufkommens in Fliessgewässern sowie an den Rechenanlagen von KWK sind einerseits Direktmessungen in der Töss sowie im Fassungseinlauf des KWK Hard und andererseits bei 5 KWK das durch die Rechenanlage entnommene Material erfasst und protokolliert worden.

1. Direktmessungen der GeschwemmseleKonzentration in der Töss bei Winterthur-Wülflingen sowie im Fassungseinlauf des KWK Hard.

Für die Erfassung des Geschwemmseles wurden Auffangnetze mit einer Maschenweite von 1 mm verwendet (Abbildung 2). Die Auffangnetze wurden an verzinkten Eisenrahmen befestigt, die einen Durchflussquerschnitt von 0.30 x 0.50 m aufwiesen. Sowohl in der Töss als auch beim Fassungseinlauf wurden Halterungen und Fahrstangen installiert, die es erlaubten, die Auffangnetze an der gewünschten Stelle des Abflussquerschnitts zu positionieren.

Die 2 Messinstallationen in der Töss⁵ befanden sich rund 350 m oberhalb der Fassung des KWK Hard, rund 3 m vom linken und rechten Ufer entfernt.

Beim Fassungseinlauf befanden sich die Messstellen in der Ache der linken und rechten Durchflussöffnung, unmittelbar hinter den Tafelschützen (Abbildung 2). Dies ermöglichte eine detaillierte Erfassung der Geschwemmselverteilung im Einlauf (Abbildung 3).

Abbildung 2

Messinstallation beim Fassungseinlauf des KWK Hard mit Auffangnetzen, Fahrstangen und Halterungen. Fliessrichtung Triebwasser von links oben nach rechts unten.

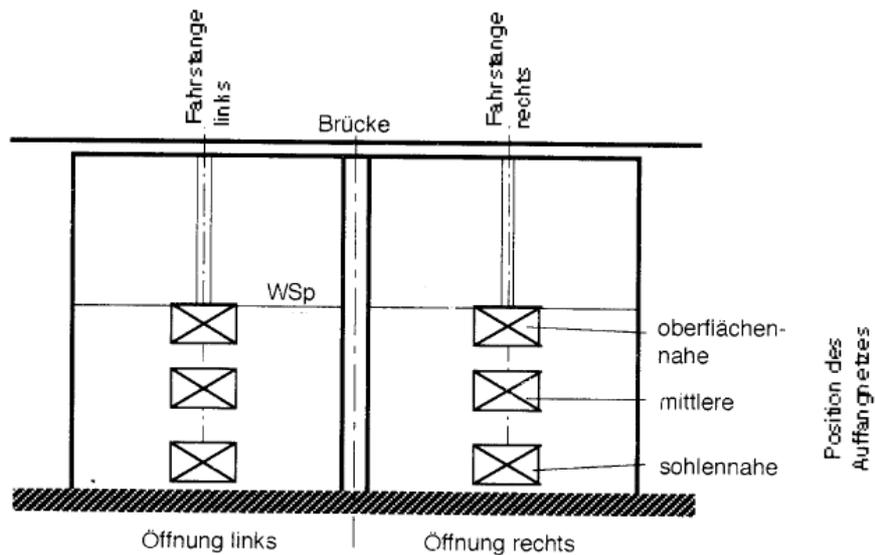
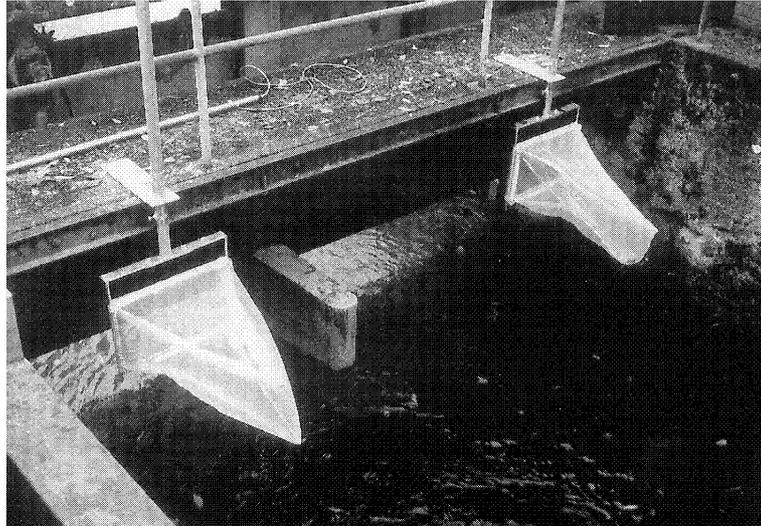


Abbildung 3 Messquerschnitte beim Fassungseinlauf.

⁵ Bewilligungen AGW Kt. ZH vom 3.9.93, 14.10.94 und vom 2.9.96.

Die Messdauer variierte in Abhängigkeit der Geschwemmselzufuhr zwischen 5 und 50 Minuten.

Während einer Probenahme wurde die Fliessgeschwindigkeit im Eintrittquerschnitt der Auffangnetze regelmässig gemessen. Aus der mittleren Fliessgeschwindigkeit und dem Durchflussquerschnitt der Netzrahmen wurde das filtrierte Wasservolumen bestimmt. Aus dem Abtropfgewicht des aufgefangenen Geschwemmsels und dem filtrierten Wasservolumen wurde die Geschwemmselkonzentration berechnet.

Die Zuverlässigkeit der Resultate wurde durch die Wiederholung einzelner Messungen überprüft. Die Abweichungen vom Mittelwert betragen generell weniger als 5 %.

Die Direktmessungen ermöglichten es, die gesamte, von der Töss transportierte Geschwemmselfracht abzuschätzen (exkl. Grobholz), die in die Fassung geleitete Geschwemmselfracht zu berechnen und die Geschwemmselkonzentration in verschiedenen Abflusstiefen zu ermitteln.

Die Geschwemmselmessungen erfolgten zwischen dem 21.10.93 und dem 24.1.94 (Situationsanalyse) sowie zwischen dem 3.10.96 und dem 21.1.97 (Erfolgskontrolle).

2. Untersuchungen bei 5 KWK

Bei 5 Wasserfassungen wurde das am Feinrechen anfallende Geschwemmsel durch die Zählung voller Mulden volumenmässig erfasst. Bei der Auswertung muss berücksichtigt werden, dass das an der Rechenanlage zurückgehaltene Geschwemmsel nur einen Teil der gesamten Geschwemmselfracht eines Fliessgewässers umfasst. Aus diesem Grund sind die mit diesem Verfahren erfassten Frachten nicht direkt mit denjenigen der Direktmessungen in der Töss vergleichbar.

Die Umrechnungsfaktoren zwischen Geschwemmselvolumen, Abtropfgewicht (Frischgewicht FG) und Trockengewicht (TG) sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Das Verhältnis zwischen Geschwemmselvolumen und Abtropfgewicht erfolgte anhand von Richtwerten. Das Verhältnis zwischen Abtropfgewicht und Trockengewicht⁶ beruht auf der Auswertung von 26 Proben.

Material	Volumen / Abtropfgewicht	Abtropfgewicht / Trockengewicht
Holz und Äste	1 m ³ lose ~ 250 kg	1 kg ~ 0.4 kg
Laub	1 m ³ lose ~ 300 kg	1 kg ~ 0.2 kg

Tabelle 2 Umrechnungsfaktoren zwischen Geschwemmselvolumen, Abtropf- und Trockengewicht.

⁶ Material während 48 h bei 80 °C getrocknet.

2.3.2 Messresultate

Im folgenden werden die Resultate der Direktmessungen an der Töss sowie der Geschwemmselentnahmen beim KWK Roggwil zusammengestellt. Bei den übrigen 4 Wasserfassungen wurden die für die Geschwemmselentsorgung bereitgestellten Mulden nur sporadisch entleert, weshalb nur Durchschnittswerte der Geschwemmselfracht und -konzentration angegeben werden können.

Die Geschwemmselmessungen werden dem Abfluss sowie meteorologischen Daten (Niederschlag, Temperatur und Windgeschwindigkeit) gegenübergestellt. Der Vergleich dieser Daten erlaubt Rückschlüsse betreffend die Ursachen des Geschwemmselaufkommens.

1. Geschwemmselmessungen in der Töss

In den Abbildungen 4 und 5 sind für die Beobachtungsperioden 1993/94 und 1996/97 die meteorologischen Daten (Niederschlag, Temperatur, Wind), der Tössabfluss bei der eidgen. Messstation Neftenbach sowie die Geschwemmselmessungen zusammengestellt.

In Abhängigkeit von der Witterung setzt der herbstliche Laubfall im September oder anfangs Oktober ein. Das Abfallen der Blätter wird massgebend durch die Einwirkung von Wind und Regen beeinflusst. Dieser *direkte Eintrag* von Blättern etc. führt zu einer **Geschwemmsel-Grundlast** im Fliessgewässer, welche im September ansteigt, im Oktober den Höhepunkt erreicht und gegen Ende November auf einen unbedeutenden Wert absinkt. In der Töss erreicht diese Grundlast Konzentrationen von max. 0.5 mg/l TG⁷. Unter diesen Verhältnissen werden bei einem Tössabfluss von 4 m³/s während eines Tages 170 kg TG (oder 2.9 m³ Geschwemmsel) transportiert.

Diejenigen Blätter der gewässerbegleitenden Vegetation, die nicht direkt auf den Wasserspiegel fallen, werden im Uferbereich oder auf Kiesflächen zwischengelagert (Abbildungen 6 und 8). Zudem staut sich ein Teil des direkt eingetragenen Laubes an Hindernissen im Gewässer (Abbildungen 7 und 9). Bei abnehmendem Abfluss und in Ruhigwasserzonen kann Material auf der Gewässersohle abgelagert werden, wodurch ausgedehnte Geschwemmselteppiche entstehen (Abbildung 10). Während Trockenperioden bilden sich dadurch im Fliessgewässer beträchtliche Geschwemmseldepots.

⁷ Alle Angaben betreffend die Geschwemmselkonzentration beziehen sich auf das Trockengewicht (TG).

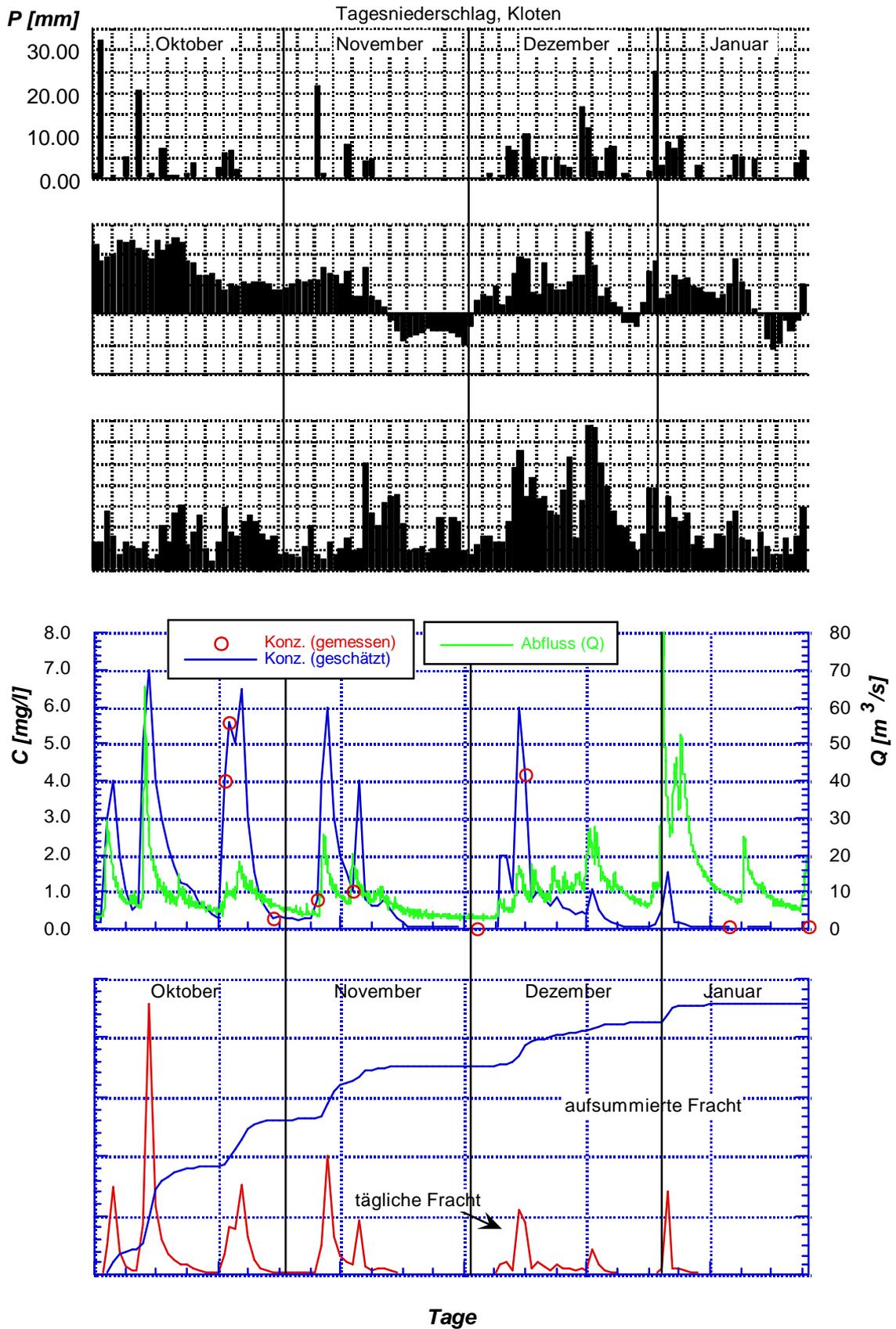


Abbildung 4 Meteorologische Daten der ANETZ-Station Kloten, Abflussganglinie, Geschwemmselkonzentration, tägliche und aufsummierte Geschwemmsel-fracht der Töss der Periode 1.10.93 - 24.1.94.

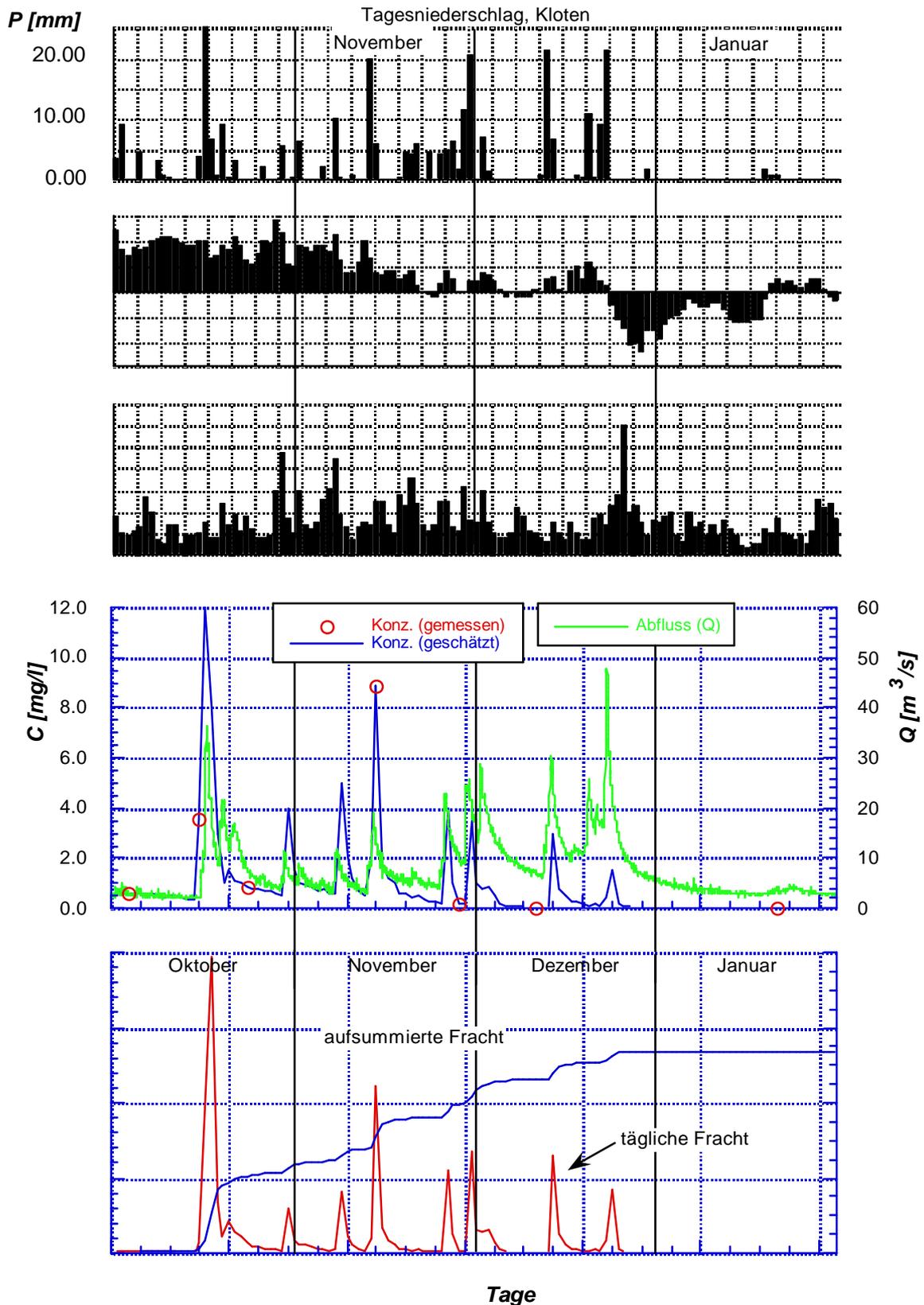


Abbildung 5 Meteorologische Daten der ANETZ-Station Kloten, Abflussganglinie, Geschwemmselkonzentration, tägliche und aufsummierte Geschwemmsel-fracht der Töss der Periode 1.10.96 - 28.1.97.



Abbildung 6

Mit Laub abgedeckte Ufer- und Böschungsbereiche eines Seitenbachs der Töss.



Abbildung 7

Frischlaubpakete bei geringer Abflusstiefe an der Töss bei Winterthur. 31.10.94.

Bei einer Abflusszunahme erfolgt der *indirekte Eintrag* des auf den gewässerbegleitenden Flächen zwischengelagerten Materials. Gleichzeitig wird das im Gewässer deponierte Geschwemmsel von der Strömung mitgerissen. Durch den indirekten Eintrag sowie durch die Remobilisierung resultieren in der Töss **extreme Konzentrationsspitzen** mit Werten um 12 mg/l. Bei einem Tössabfluss von 15 m³/s werden während eines Tages 16 t TG (entspricht 260 m³ Geschwemmsel) transportiert, was knapp das 100-fache der oben erwähnten Grundlast beträgt.

Anhand der Direktmessungen sowie der Abflussganglinie wurde versucht, eine Ganglinie des Geschwemmselaufkommens⁸ herzuleiten. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die Ganglinien der Geschwemmselkonzentration, der -fracht sowie der Summenkurve der Geschwemmselfracht (aufsummiertes Geschwemmselaufkommen). Die Ganglinien zeigen, dass das Geschwemmselaufkommen gekennzeichnet wird durch die Grundlast, die durch extreme Spitzen überlagert wird.

⁸ Die Ganglinien sind als grobe Annäherungen zu betrachten.

Abbildung 8

Mit Frischlaub bedeckte
Kiesbank an der Murg
(BE/AG). 27.10.95.



Abbildung 9

Ansammlung von Ästen und
Laub entlang dem Murg-
Ufer. 27.10.95.



Abbildung 10

Ablagerungen von Laub auf
der Tösssohle (Geschwemm-
selteppich). 14.11.94.



Die Spitzenwerte der Geschwemmselkonzentration sind immer mit einer Abflusszunahme verbunden. Extreme Spitzenwerte treten auf

- nach längerer Trockenheit während dem ansteigenden Ast eines grösseren Mittel- bis Hochwasserabflusses sowie
- bei einer seit Beginn der Laubfallperiode unerreichten Abflusstiefe, bzw. Abflusses (höhere Uferlinie).

Abbildung 4 zeigt für das Jahr 1993 ein ausgeprägtes Geschwemmselaufkommen zwischen Anfang Oktober bis Mitte November. Die Töss transportierte in dieser Periode rund 105 t TG, was knapp 80 % des gesamten herbstlichen Geschwemmselaufkommens umfasst. Die Geschwemmselzufuhr der anschliessenden Kalt- und Trockenwetterperiode war vernachlässigbar. Ein erneuter Geschwemmselschub war bei einsetzenden Niederschlägen ab 10. Dezember zu beobachten. Da zu dieser Zeit der Laubfall annähernd abgeschlossen war und das Bachbett zunehmend ausgeräumt wurde, zeigten die darauffolgenden grösseren Abflussereignisse kaum mehr grössere Geschwemmselkonzentrationen, resp. -frachten.

Die Messperiode 1996/97 war gekennzeichnet durch früh einsetzenden Laubfall. Das kleinere Hochwasser ($Q_{max} = 36.6 \text{ m}^3/\text{s}$) vom 17. Oktober führte nach längerer Trockenheit zu sehr hohen Geschwemmselkonzentrationen. Die Periode bis zu Weihnachten war gekennzeichnet durch regelmässig wiederkehrende Niederschläge mit zunehmend grösseren Abflussspitzen. Das Hochwasserereignis vom 25. Dezember mit einer Abflussspitze von $48 \text{ m}^3/\text{s}$ hat das Tössgerinne praktisch vollständig ausgeräumt.

Rechnet man mit einem durchschnittlichen herbstlichen Geschwemmselanfall von 150 t TG ($2'500 \text{ m}^3$), so ergibt sich für die Perioden 93/94 und 96/97 eine prozentuale monatliche Verteilung entsprechend Tabelle 3.

Die durchschnittlichen Geschwemmselkonzentrationen für die Periode Oktober - Dezember betragen für das Jahr 1993 $1.9 \text{ g}/\text{m}^3$ und für das Jahr 1996 $1.5 \text{ g}/\text{m}^3$.

Monat	93/94			96/97		
	[t TG]	%	$\Sigma\%$	[t TG]	%	$\Sigma\%$
Sept.	10	7	7	40	27	27
Okt.	75	50	57	50	33	60
Nov.	30	20	77	40	27	87
Dez.	25	17	94	20	13	100
Jan.	10	6	100	0	0	100

Tabelle 3 Verteilung des Geschwemmselaufkommens in der Töss für die Laubfallperioden 93/94 sowie 96/97.

2. Geschwemmselmessungen an der Langete

Der Abfluss in der Langete bei Roggwil wird beeinflusst durch die Hochwasserentlastung Langenthal. Bereits bei einem Abfluss von wenigen m^3/s wird ein Teil des Zuflusses durch den Entlastungsstollen in die Aare geleitet. Der in der Langete verbleibende Abfluss wird auf max. ca. $11 \text{ m}^3/\text{s}$ beschränkt.

Das Bachprofil weist relativ steile Böschungen auf und die Sohle ist weitgehend auf der gesamten Breite benetzt. Zwischen Langenthal und Roggwil weist die Langete eine fast durchgehende bachbegleitende Bestockung auf.

Diese Randbedingungen führen dazu, dass der direkte Laubeintrag und damit die Geschwemmsel-Grundlast im Gewässer vergleichsweise hoch sind. Gleichzeitig fallen die Spitzenwerte der Geschwemmselfracht weniger extrem aus.

In Abbildung 11 sind die Ganglinie der Geschwemmsel⁸fracht und deren Summenkurve dargestellt. Verglichen mit den entsprechenden Ganglinien an der Töss liegt das Schwergewicht des Geschwemmselaufkommens ebenfalls zwischen Mitte Oktober und Mitte November. Die Kurven an der Langete sind jedoch viel ausgeglichener.

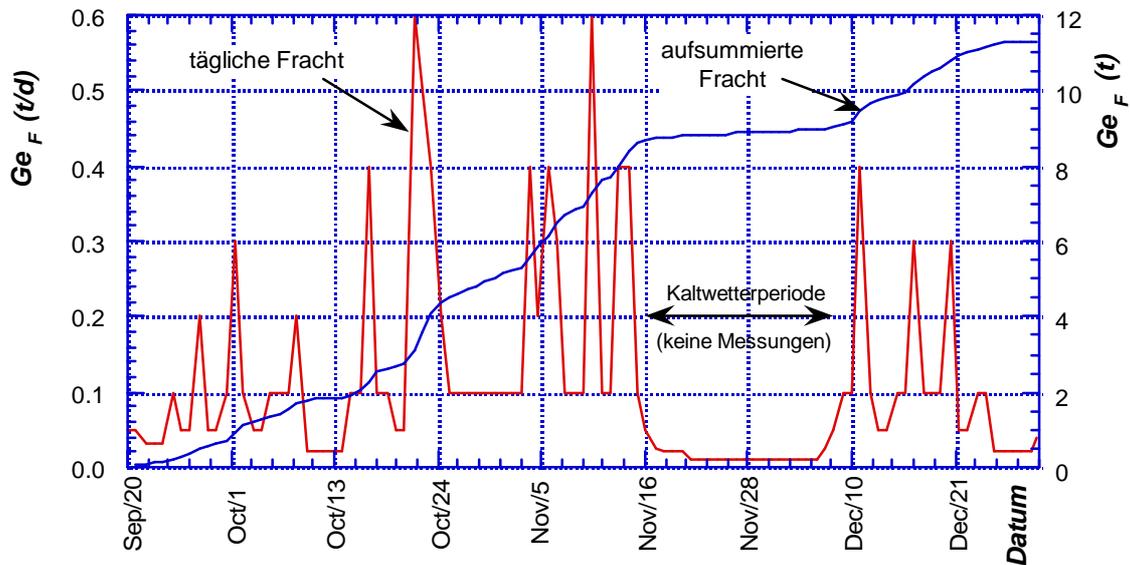


Abbildung 11 Am Feinrechen des KWK Roggwil anfallende Geschwemmsel⁸fracht. Ganglinie der täglichen und der aufsummierten Fracht vom 20.9.93 - 1.1.94.

Die durchschnittliche Geschwemmselkonzentration der Periode Oktober - Dezember 1993 beträgt $0,9 \text{ g}/\text{m}^3$. Die für die Langete und die Töss angegebenen Werte sind nicht direkt vergleichbar (KWK Roggwil: nur Rechengut, d.h. eher zu tiefer Wert).

⁸ Anzahl Muldenleerungen pro Tag, d.h. keine Momentan-, sondern über eine gewisse Zeit integrierte Werte.

2. Durchschnittliche Geschwemmselkonzentrationen

In Tabelle 4 sind die durchschnittlichen Geschwemmselkonzentrationen aller erfassten KWK sowie an der Töss zusammengestellt. Wie bereits erwähnt, sind die Resultate nicht direkt miteinander vergleichbar. Trotzdem geben sie einen Überblick der stark unterschiedlichen Verhältnisse. In der dritten Spalte sind die massgebenden Randbedingungen aufgelistet.

KWK / Fließgewässer, Ort	durchschnittliche Geschwemmselkonzentration Okt - Dez., [g/m ³]	Randbedingungen
Töss Winterthur-Wülflingen (Direktmessungen)	1.5 - 1.9	Höhenlage 410 m ü.M. <i>Alles Geschwemmsel erfasst</i> (<i>< ca. 40 cm</i>)
Roggwil Langete, Roggwil	0.92	Höhenlage 445 m ü.M. <i>Kleiner Abstand der Rechenstäbe</i> <i>(23 mm)</i> Abfluss beeinflusst
Tiergarten Gewerbekanal, Burgdorf	0.07	Höhenlage 535 m ü.M. Rechenabstand ca. 50 mm <i>Im OW diverse Rechen und KWK</i> <i>Regulierter Abfluss</i>
Rieter Töss, Winterthur	0.01	Höhenlage 440 m ü.M. Rechenabstand 50 mm <i>Manuelle Rechenreinigung</i> <i>"Optimale Fassung"</i>
Kalkfabrik Linth, Netstal	0.03	Höhenlage 455 m ü.M. <i>Grosser Abstand der</i> <i>Rechenstäbe (85 mm)</i> <i>Eher kleiner Laubwaldanteil im</i> <i>EG</i> Fassung an Kurvenaussenseite
Fassung KW Amsteg Etzlibach, Bristen	0.02	<i>Höhenlage 820 m ü.M.</i> Rechenabstand 30 mm

Tabelle 4 Durchschnittliche Geschwemmselkonzentrationen der Monate Oktober bis Dezember an der Töss sowie bei 5 KWK mit Angabe der massgebenden Randbedingungen (kursiv gedruckt).

Der Vergleich dieser Resultate mit Literaturwerten ist schwierig, da der Laubeintrag in Fließgewässer üblicherweise auf die Bachfläche oder die Uferlänge bezogen wird. Fischer (1977, zitiert in Schwoerbel et al, 1991⁹) fand für die gesamte Drift von grobem POM Werte von 0.05 bis 1 g/m³ TG (ebenfalls Okt. - Dez.).

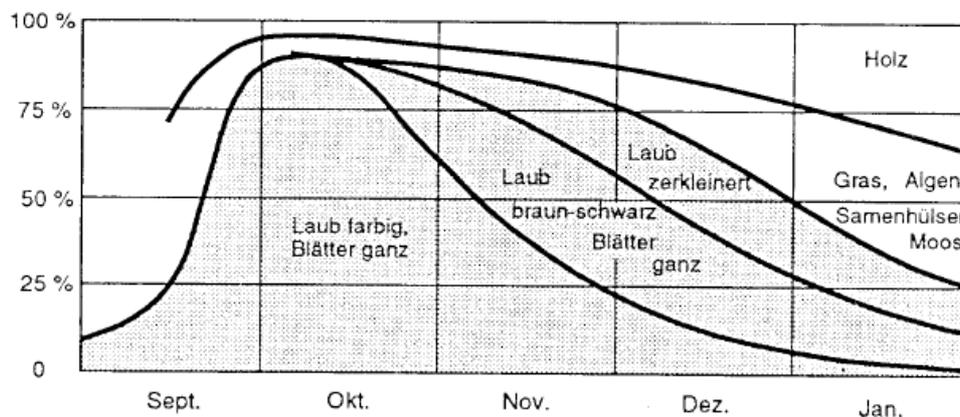
⁹ Schwoerbel J., Pusch M., Pusch M.H.E. (1991): Bedeutung von partikulärem organischem Material in Fließgewässern. Limnologisches Institut der Universität Konstanz im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Wasserkraftwerke Baden-Württemberg. 32 S..

2.4 ZUSAMMENSETZUNG DES GESCHWEMMSELS

Die Zusammensetzung des POM (partikuläres organisches Material) in einem Fließgewässer ist abhängig von der Vegetation entlang des Gewässernetzes sowie im Fließgewässer selbst, der Jahreszeit, dem Witterungsverlauf und dem Abflussgeschehen.

Die Zusammensetzung und die Grössenverteilung des POM bestimmen, in welchen Wassertiefen das Geschwemmsel von der Strömung gerinneabwärts transportiert wird und ob die einzelnen Partikel die Rechen passieren können. Die Zusammensetzung ist daher mitentscheidend, welche Probleme sich bei Wasserfassungen von KWK ergeben können.

Abbildung 12 zeigt die prozentuale Zusammensetzung des POM in der Töss bei Winterthur-Wülflingen für den Herbst/Winter 1993/94. Die Darstellung beruht auf der Analyse der in der Töss entnommenen Geschwemmselproben sowie auf Vergleichswerten für das Grobholz.



Ein Grossteil des Geschwemmsels (bis zu 90 %) besteht anfänglich aus farbigem Laub, das sich mit der Zeit braun verfärbt und zersetzt (Blätter werden zerkleinert). Das Laub wird im Dezember und vor allem im Januar abgelöst durch Samenhülsen und Holzsplitter.

Bei grösseren Abflüssen sind vermehrt Grobholz, Gras, Moos und Algen festzustellen, die durch die Strömung entwurzelt oder ab- und mitgerissen werden. Dasselbe gilt auch für den Siedlungsabfall, der in der Töss jedoch eine untergeordnete Rolle spielt.

In den Abbildungen 13 - 15 sind die Analysen des Rechengutes der KWK Roggwil, Tiergarten-Burgdorf und Kalkfabrik-Netstal dargestellt. Bei der Interpretation der Daten sind die unterschiedlichen Randbedingungen zu berücksichtigen.

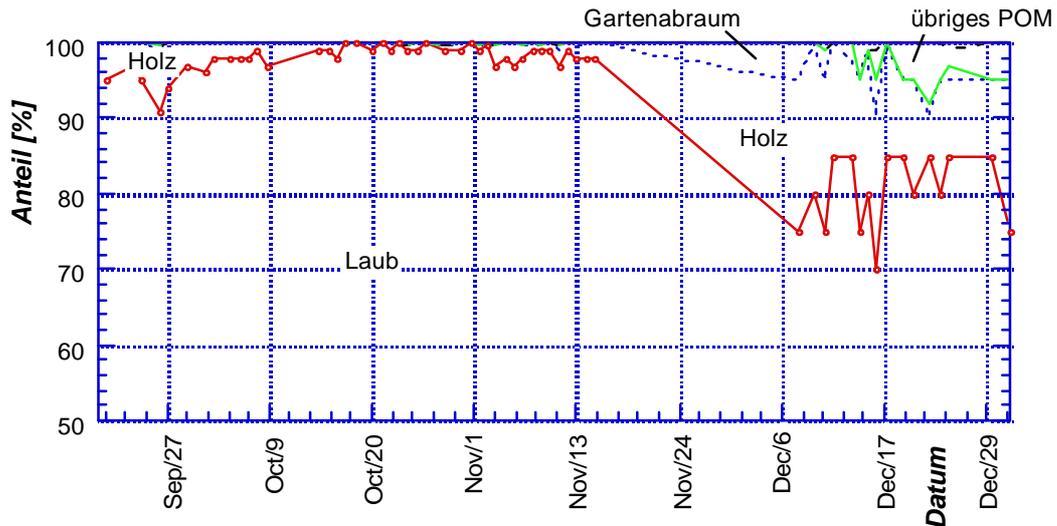


Abbildung 13 KWK Roggwil. Zusammensetzung des Geschwemmsels vom 21.9.93 - 1.1.94. Randbedingungen:

- Die Abflussganglinie wird durch die Hochwasserentlastungsanlage Langenthal beeinflusst.
- Ein Teil des aus dem oberen Einzugsgebiet anfallenden Geschwemmsels wird bei der Hochwasserentlastungsanlage zurückgehalten.
- Der Abstand der Rechenstäbe beträgt 23 mm.
- Höhenlage 445 m ü.M..

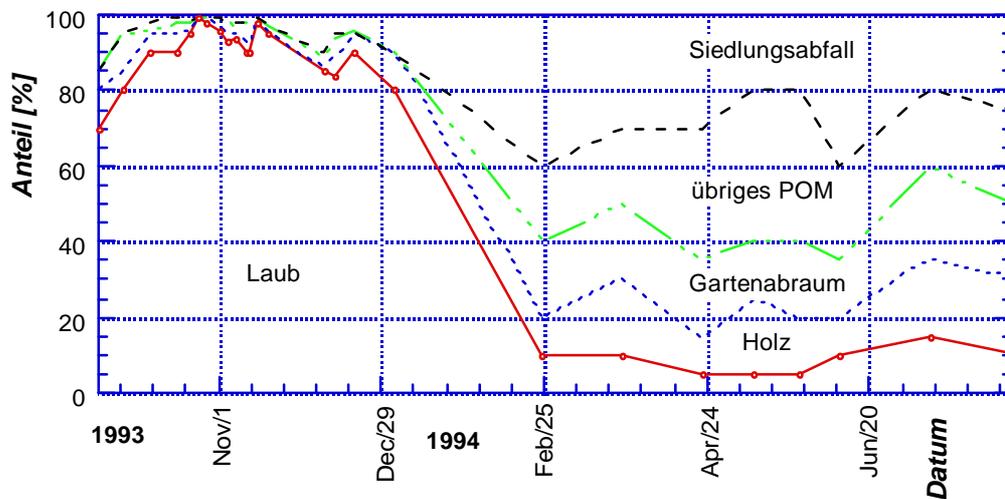


Abbildung 14 KWK Tiergarten. Zusammensetzung des Geschwemmsels vom 20.9.93 - 10.8.94. Randbedingungen:

- Künstliches Kanalsystem, das durch den Oberburgbach und die Emme gespeisen wird. Gerinneaufwärts bestehen weitere Rechenanlagen und KWK, die einen Teil des anfallenden Geschwemmsels entnehmen.
- Der Abstand der Rechenstäbe beträgt ca. 50 mm.
- Höhenlage 535 m ü.M..

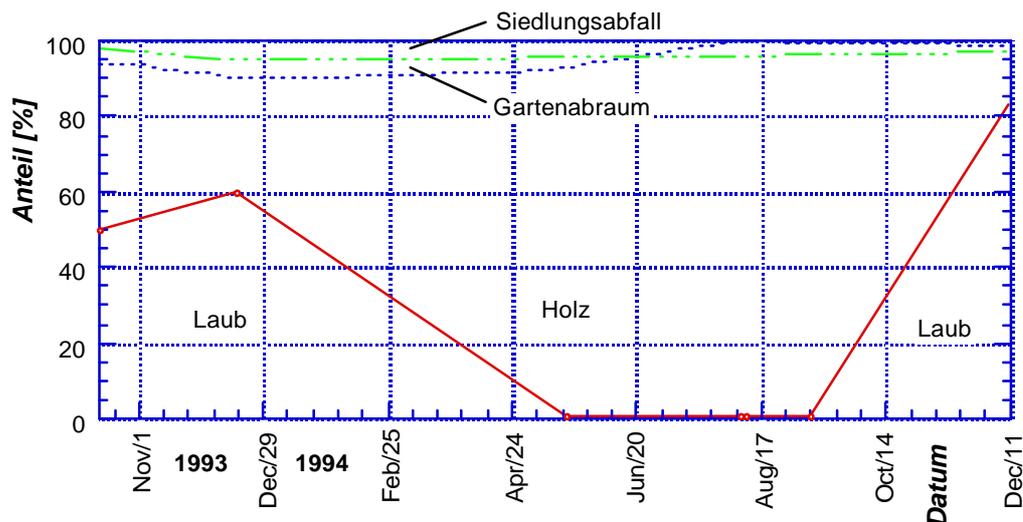


Abbildung 15 KWK Kalkfabrik. Zusammensetzung des Geschwemmseles vom 14.10.93 - 21.12.94. Randbedingungen:

- Die Wasserfassung liegt an der Aussenseite einer leichten Krümmung der Linth.
- Bei Hochwasserereignissen wird der KW-Betrieb wegen zu grosser Geschwemmselezufuhr unterbrochen.
- Der Abstand der Rechenstäbe beträgt ca. 85 mm.
- Höhenlage 455 m ü.M..

Bei den KWK Roggwil und Tiergarten beträgt der Laubanteil am gesamten Geschwemmseleaufkommen zwischen September und November über 90 %.

Beim KWK Tiergarten wird das Geschwemmsele, das auf einer kurzen Kanalstrecke durch Siedlungsgebiet anfällt, entnommen. Der Siedlungsabfall erreicht nach der Laubfallperiode einen Anteil von 20 - 40 %.

Beim KWK Netstal erreicht der Laubanteil im Herbst im Maximum 60 % der Gesamtgeschwemmselfracht. Dieser vergleichsweise tiefe Wert dürfte auf den geringen Laubanteil im Einzugsgebiet zurückzuführen sein.

Im Verlauf des Dezembers geht der Laubanteil zugunsten von Holz, übriges POM und Siedlungsabfall markant zurück.

2.5 TRANSPORT DES GESCHWEMMSELES

Geschwemmsele kann sowohl schwimmend, schwebend als auch über der Gewässersohle transportiert werden. In welcher Form ein bestimmter Partikel transportiert wird, ist abhängig von seiner Grösse, der Aufenthaltszeit im Wasser, den Materialeigenschaften sowie den Strömungsverhältnissen.

Die Messeinrichtung an der Wasserfassung des KWK Hard erlaubte, den oberflächennahen, den mittleren und den sohlennahen Abflussanteil getrennt zu erfassen. Im An

strombereich der ursprünglichen Fassung vermischten sich die verschiedenen Wasserschichten nur unwesentlich. Mit den Messungen kann daher gezeigt werden, welche Partikel in welchen Abflussbereichen transportiert werden und in welchen Konzentrationen sie auftreten.

In Abbildung 16 sind die über die Monate Oktober 1993 bis Januar 1994 gemittelten Geschwemmselkonzentrationen des oberflächennahen, des mittleren und des sohlennahen Abflussanteils¹⁰ im Verhältnis zur durchschnittlichen Geschwemmselkonzentration des gefassten Wassers dargestellt (relative Konzentration).

Der sohlennahe Abflussanteil zeigt eine Konzentration, die etwa dem Doppelten des durchschnittlich gefassten Wassers entspricht. Gegen Dezember / Januar wird zunehmend mehr Geschwemmsel in Sohlennähe transportiert.

Die Geschwemmselkonzentration des mittleren Abflussanteils beträgt im Mittel 54 % der Konzentration des gefassten Wassers (Durchschnitt aller Messungen). Die Verteilung über die Monate ist ausgeglichen.

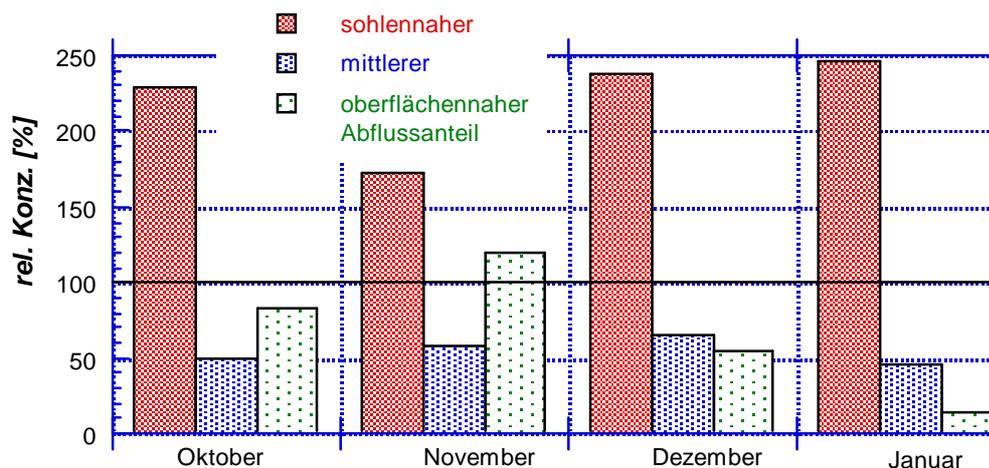


Abbildung 16 Relative Geschwemmselkonzentration des sohlennahen, mittleren und oberflächennahen Abflussanteils der Töss bei Winterthur-Wülflingen im Verhältnis zur durchschnittlichen Konzentration des gefassten Wassers für die Monate Oktober 1993 - Januar 1994.

Der oberflächennahe Abflussanteil weist in den Monaten Oktober und November eine Geschwemmselkonzentration auf, die etwa der durchschnittlichen Fassungskonzentration entspricht. Im Dezember ist eine markante Abnahme festzustellen mit ähnlicher Konzentration wie im mittleren Abflussanteil. Im Januar weist das oberflächennahe Wasser mit Abstand die kleinste Geschwemmselkonzentration auf.

¹⁰ Die Anteile des oberflächennahen, des mittleren und des sohlennahen Wassers am gesamten Abfluss betragen rund 20 %, 50 % und 30 %.

Die Probeanalysen zeigten, dass an der Oberfläche vor allem direkt eingetragenes farbiges Laub sowie Holz transportiert wird. Der Rückgang im Dezember ist mit dem Ende der Laubfallperiode zu erklären.

In Sohlennähe wird Geschwemmsel transportiert, das

- angefault, wassergesättigt und indirekt in das Gewässer eingetragen wird oder
- sich bereits eine gewisse Zeit im Wasser aufhält.

Die Geschwemmselkonzentration in den verschiedenen Wasserschichten ist zudem abhängig von den Strömungsverhältnissen. Diese werden bestimmt durch den Abfluss und die lokalen Verhältnisse (gestauter oder freier Abfluss).

Bei Niederwasserabfluss kann die Geschwemmselkonzentration des sohlennahen Abflussanteils sehr klein sein. Gleichzeitig kann auf dem Wasserspiegel infolge starkem direktem Eintrag (Einwirkung von Wind und einsetzendem Regen) die Konzentration vergleichsweise hoch sein.

Bei stärker turbulenten Abflüssen erfolgt eine stärkere Durchmischung der Abflussschichten. Die Konzentrationsunterschiede zwischen der oberen, mittleren und sohlennahen Abflussschicht gleichen sich aus, wobei - ähnlich wie bei den Schwebstoffen - die Konzentration vom Wasserspiegel gegen die Sohle zunimmt.

2.6 FOLGERUNGEN

Aus der Situationsanalyse lassen sich die folgenden Erkenntnisse und Konsequenzen für die Optimierung einer Wasserfassung ableiten:

1. Die Geschwemmselkonzentration eines Fließgewässers zeigt eine Grundlast mit einem Scheitelwert im Oktober, die durch ausgeprägte Spitzenwerte - insbesondere bei ansteigendem Abfluss nach Trockenwetterperioden - überlagert wird.
2. Der mittlere Abflussanteil weist die kleinste Geschwemmselkonzentration auf und wird daher bevorzugt gefasst.
3. Der sohlennahe Abflussanteil besitzt die höchste Geschwemmselkonzentration. Dieser Abflussanteil darf nicht in die Fassung geleitet werden.
4. Der oberflächennahe Abflussanteil weist während der Laubfallperiode (September - November) eine durchschnittliche Abflusskonzentration auf. Ab Dezember kann die Konzentration als gering bezeichnet werden. Das oberflächennahe Wasser sollte vor allem wegen dem hohen Grobholzanteil nicht in die Fassung geleitet werden.

5. Wird über 50 % des Abflusses in die Fassung geleitet, so wird unvermeidlich auch ein Teil des oberflächennahen und/oder sohlennahen Abflussanteils entnommen. Die Geschwemmselkonzentration des gefassten Wassers wird damit erhöht.
6. Bei stark turbulentem Abfluss findet eine vertikale Durchmischung des Wassers statt, wodurch die Unterschiede der Geschwemmselkonzentration zwischen den verschiedenen Abflussanteilen verringert werden.

3. PILOTPROJEKT WASSERFASSUNG KWK HARD

3.1 ZUSTAND 1993

Am Fassungseinlauf des KWK Hard an der Töss bei Winterthur wurde ein Pilotprojekt durchgeführt, das zum Ziel hatte, den Geschwemmselanfall bei den Rechen im Triebwasserkanal soweit zu reduzieren, dass die betrieblichen Aufwendungen für die vorgeschriebene Entsorgung auf ein vertretbares Mass reduziert und die Verminderung der Energieproduktion durch Strömungswiderstände an den Rechen sowie durch Geschwemmselablagerungen auf den Turbinenschaufeln verringert werden können.

Die Situation und die Strömungsverhältnisse vor dem Umbau (1993) sind in Abbildung 17 dargestellt.

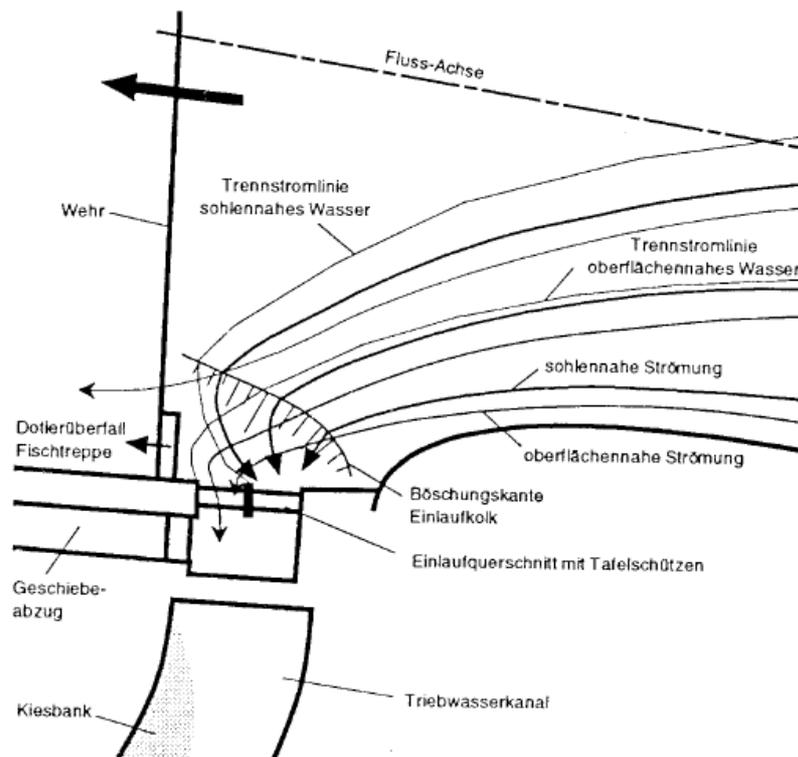


Abbildung 17 Situation und Strömungsverhältnisse im Fassungsbereich des KWK Hard; Zustand 1993.

Die Wasserfassung liegt am linken Ufer eines gestreckten Tössabschnitts unmittelbar oberhalb des Klappenwehrs. Bei Nieder- und Mittelwasserabfluss wird die Töss eingestaut. Der Fassungseinlauf ist durch einen Pfeiler unterteilt und mit zwei Tafel

schützen regulierbar. In der rechten Seitenmauer der Fassung folgt ein Geschiebeabzug mit Tafelschütze, der die periodische Rückspülung des Geschiebes in die Töss-Unterwasserstrecke erlaubt.

Der Grob- und der Feinrechen befinden sich im Triebwasserkanal rund 450 m von der Fassung entfernt.

Die Strömungsverhältnisse vor der Fassung sind vergleichbar mit den Verhältnissen bei einer starken Krümmung resp. einer plötzlichen Umlenkung: Auf der Aussenseite taucht das Oberflächenwasser ab und das sohlennahe Wasser wird gegen die Innenseite abgelenkt.

Als Folge dieser Strömungsverhältnisse bildet sich vor dem Fassungseinlauf ein Kolk mit markanter Abbruchkante. Sobald sohlennahes Geschwemmsel diese Abbruchkante erreicht, wird es von der Spiralströmung erfasst und gegen die linke Einlauföffnung abgelenkt.

Oberflächennahes Geschwemmsel tendiert dagegen eher von der Fassung weg und über das Wehr gelenkt zu werden (in Richtung der Fliehkraft).

Entsprechend den in Abbildung 17 eingezeichneten Trennstromlinien hat die vorliegende Fassungsdisposition zur Folge, dass sohlennahes Wasser mit vergleichsweise hoher Geschwemmselkonzentration bevorzugt in den Triebwasserkanal geleitet wird.

In Abbildung 18 ist die Geschwemmselkonzentration des gefassten Wassers im Verhältnis zur Konzentration in der Töss¹¹ dargestellt. Es zeigt sich, dass die Geschwemmselkonzentration in der Töss und der Fassung während der Laubfallperiode (Oktober und November) im Durchschnitt etwa gleich gross sind. Ab Ende November, wenn der Grossteil des Geschwemmsels in Sohlennähe transportiert wird, ist jedoch eine deutliche Aufkonzentration in der Fassung festzustellen, das heisst, Geschwemmsel wird bevorzugt in den Triebwasserkanal geleitet.

Die ursprüngliche Wasserfassung des KWK Hard ist aufgrund der strömungshydraulischen Verhältnisse bezüglich Geschwemmselabweisung als ungünstig zu beurteilen.

¹¹ Zwischen dem Messprofil in der Töss und der Fassung liegt die Staustrecke. Hier kann Geschwemmsel abgelagert (Niederwasserabfluss) oder resuspendiert (grössere Abflüsse) werden. Bei den Geschwemmselmessungen in der Töss konnte zudem nur ein geringer Teil des Abflussquerschnitts erfasst werden. Aus diesen Gründen können sich zwischen der in der Töss gemessenen Konzentration und der Geschwemmselkonzentration unmittelbar oberhalb der Fassung Unterschiede ergeben. Weil die Messungen in der Töss für beide Fassungsdispositionen (Zustand 1993 und Pilotprojekt) an derselben Stelle durchgeführt wurden, haben diese Effekte keinen nennenswerten Einfluss auf die Güte der Erfolgsmessungen (vgl. Kapitel 3.3).

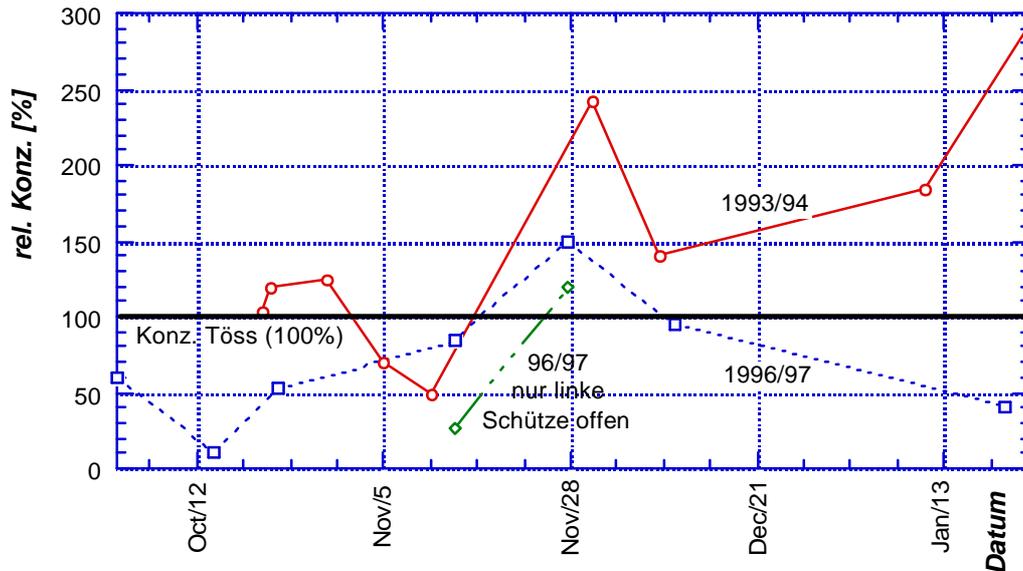


Abbildung 18 Relative Geschwemmselkonzentration im Fassungseinlauf verglichen mit der Konzentration in der Töss für die Situationsanalyse 93/94 sowie die Erfolgskontrolle 96/97.

3.2 UMBAUPROJEKT

Das Ziel des Umbauprojekts besteht darin, durch wasserbauliche Massnahmen am Fassungseinlauf die Strömungsverhältnisse so zu beeinflussen, dass der mittlere Abflussanteil bevorzugt gefasst und damit eher geschwemmselarmes Wasser in den Triebwasserkanal geleitet wird. Gleichzeitig soll auch das Geschiebe vom Fassungseinlauf wegelenkt werden.

In Abbildung 19 sind die einzelnen Massnahmen des Umbauprojekts dargestellt. Mit den Ziffern sind die folgenden Massnahmen bezeichnet:

1. Schütten einer Kiesbank entlang dem rechten Tössufer
2. Zurückversetzen des linken Tössufers und Sicherung mit Blockwurf
3. Erstellen eines Umlenksporns unmittelbar oberhalb der bestehenden Fassung
4. Einbau einer Kragschwelle zwischen Umlenksporn und Wehrachse
5. Bohren eines Durchlasses im linken Widerlager des Wehrs für den Einbau einer Spül- und Dotierschütze
6. Einbau einer Tauchwand zwischen Umlenksporn und Wehrachse

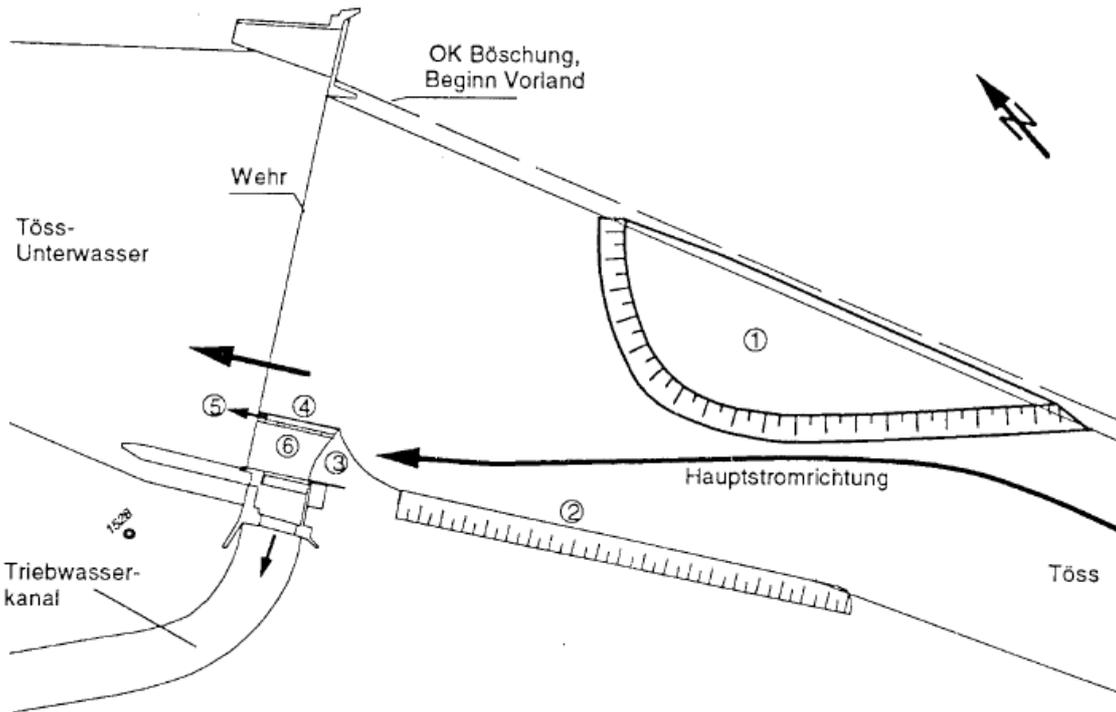


Abbildung 19 Situation Töss und Fassung KWK Hard mit den realisierten Umbaumaßnahmen.

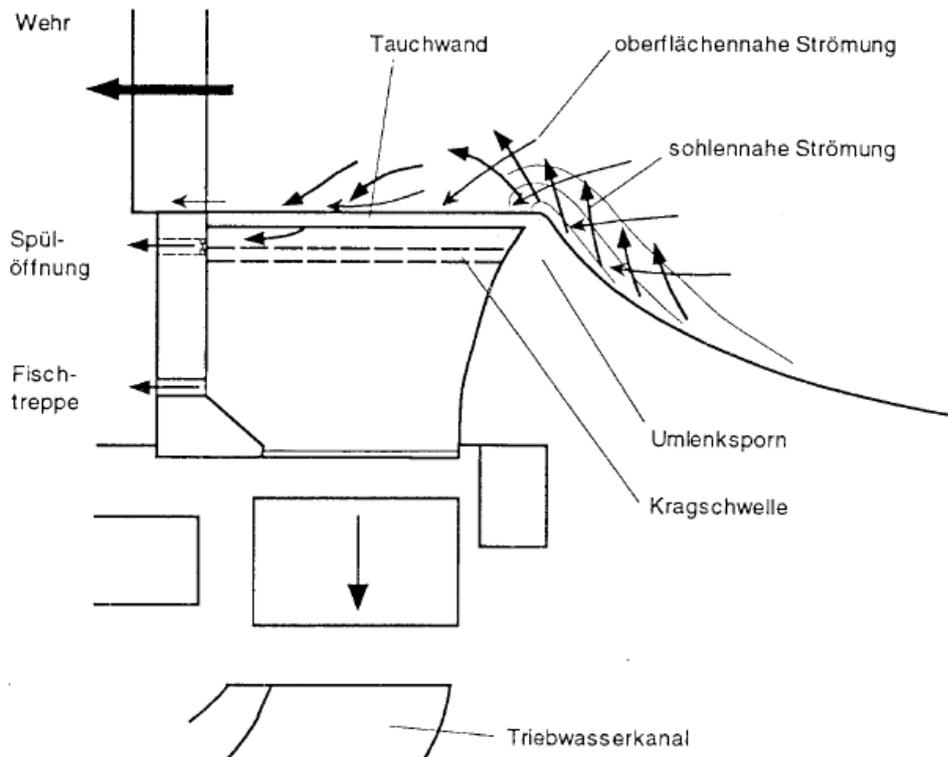


Abbildung 20 Fassungseinlauf mit den einzelnen Massnahmen sowie den induzierten Strömungsverhältnissen.

Mit der Kiesbank wird bei Nieder- und Mittelwasserabfluss die Hauptstromrichtung der Töss gegen den Umlenksporn gelenkt. Hier taucht das Wasser in die Tiefe, wodurch am Fuss des Umlenksporns ein Kolk entsteht. Der sohlennahe Abflussteil wird von der Fassung weg in Richtung Flussmitte verdrängt (Abbildung 20). Durch die Fassung wird dieses Wasser zurück in den Bereich der Kragchwelle gelenkt, wo es von der Sogwirkung der Spülöffnung erfasst und in das Unterwasser abgeleitet wird.

Das an der Wasseroberfläche transportierte Geschwemmsel wird durch die Tauchwand am Transport in die Fassung gehindert (Abbildung 21). Durch das regelmässige Absenken der ersten Wehrklappe wird das Material in die Restwasserstrecke gespült. Ohne dieses Abspülen werden regelmässig grössere Geschwemmselpakete unter der Tauchwand hindurch gedrückt und gelangen so in die Fassung.

Abbildung 21

Geschwemmselansammlung vor der Tauchwand. Fliessrichtung von oben nach unten. Fassung rechts neben Tauchwand.



Die kombinierte Wirkung der verschiedenen Massnahmen bewirkt, dass vorallem der mittlere Abflussanteil gefasst wird. Die Effizienz der geschwemmselabweisenden Massnahmen¹² ist abhängig vom Tössabfluss, dem Anteil des gefassten Wassers am Gesamtabfluss sowie vom Betrieb der Fassung (Öffnungsgrad Spülschütz, Absenken der ersten Wehrklappe, Betrieb der zwei Tafelschützen).

¹² Vgl. Kap. 3.3, Erfolgsmessungen.

Das Umbauprojekt wurde im September 1996 fertiggestellt. Die Kiesbank wurde bis zu einem Abfluss von 225 - 240 m³/s erosionssicher erstellt (ca. 50 jährliches Hochwasserereignis). Auf Abbildung 22 ist der Einbau der Kiesbank zu sehen.

Abbildung 22

Abdämmen der Töss und Schütten der Kiesbank mit Grobschotter, der mit Blöcken angereichert wurde. September 1996.

Foto J. Jucker, Gemeinschaft Hard AG.



3.3 ERFOLGSMESSUNGEN

Mit den Erfolgsmessungen wird überprüft, inwiefern mit den realisierten wasserbaulichen Massnahmen der Geschwemmsel eintrag in den Triebwasserkanal reduziert und ob die gesetzten Ziele erreicht werden konnten.

Die Erfolgsmessungen wurden an den gleichen Messstellen mit derselben Messeinrichtung wie bei der Situationsanalyse (1993) durchgeführt. Im Fassungseinlauf war die Unterscheidung zwischen oberflächennahem, mittlerem und sohlennahen Abflussanteil wegen grösserer Turbulenzen zwischen Kragsschwelle und Tafelschützen nicht möglich.

In Abbildung 23 ist das Verhältnis zwischen der gemessenen Geschwemmselkonzentration im Fassungseinlauf resp. im Töss-Unterwasser mit derjenigen in der Töss dargestellt. Es zeigt sich, dass die Geschwemmselkonzentration im Triebwasserkanal - abgesehen von einer Messung - immer kleiner als diejenige im Töss-Zulauf ist. Demgegenüber ist die Geschwemmselkonzentration im Töss-Unterwasser immer deutlich grösser als im Töss-Zulauf. Damit erweist sich, dass durch die getroffenen Massnahmen bevorzugt geschwemmselarmes Wasser gefasst wird und durch die Spülöffnung ein Grossteil des sohlennahen Abflussanteils ins Töss-Unterwasser abgeführt wird.

Am 14.11. und 28.11. erwies sich die Messung im Töss-Zulauf wegen grosser Abflusstiefe als schwierig. Aus demselben Grund war am 14.11. im Töss-Unterwasser keine Messung möglich. Weil aus Kontinuitätsgründen die Konzentrationsmessung im Tösszulauf zwischen den gemessenen Werten bei der Fassung und im Töss-Unterwasser liegen muss, dürfte die Messung im Töss-Zulauf vom 28.11. kaum korrekt sein.

Bei den Messungen vom 14.11. und 28.11. wurde beim Fassungseinlauf untersucht, inwiefern durch das Schliessen einer Tafelschütze die Geschwemmselkonzentration des gefassten Wassers beeinflusst wird. Es zeigte sich, dass durch das Schliessen der rechten Tafelschütze die Resultate noch verbessert werden konnten (vgl. Abb. 23). Verglichen mit der Situation mit zwei geöffneten Schützen ergibt sich eine zusätzliche Reduktion um rund 50 %.

Durch das Schliessen der rechten Schütze wird vermehrt Wasser nahe dem Umlenksporn gefasst. In diesem Bereich ist die Ablenkung des sohlennahen Abflussanteils am effizientesten.

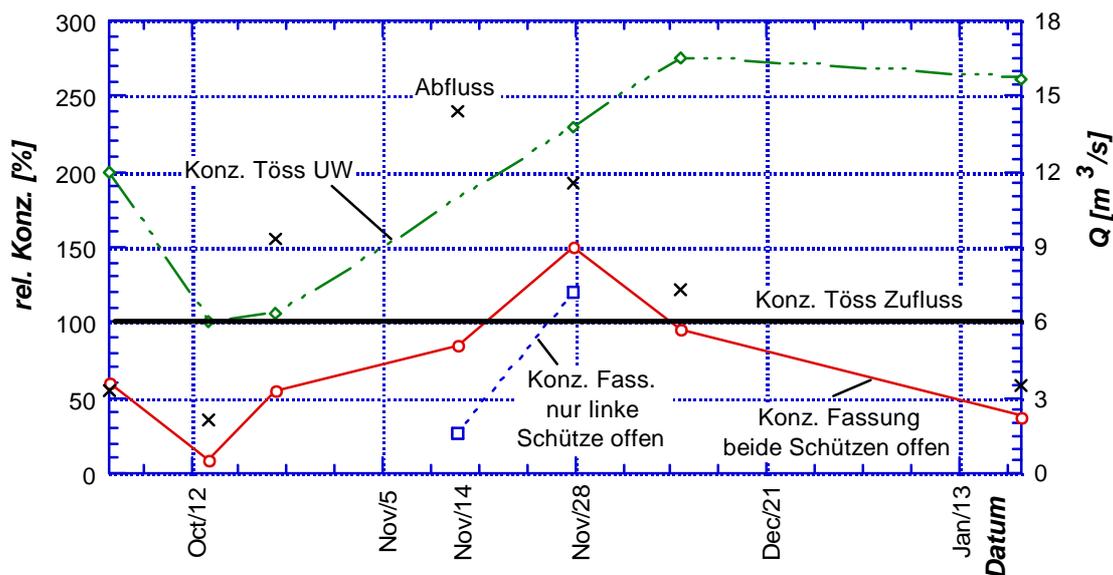


Abbildung 23 Relative Geschwemmselkonzentration im Fassungseinlauf und im Tössunterwasser verglichen mit der Konzentration im Töss-Zulauf. 3.10.96 - 21.1.97.

Demgegenüber wird beim Schliessen der linken Schütze (nur rechte Schütze offen) Wasser aus dem Einflussbereich der Spülschütze abgeleitet. Durch die Störung des Wirbels zwischen Tauchwand und Spülöffnung wird mehr Geschwemmsel in die Fassung geleitet. Vom ausschliesslichen Betrieb der rechten Schütze ist daher abzuraten.

In Abbildung 24 ist der Vergleich zwischen der Situationsanalyse von 1993 und den Erfolgsmessungen von 1996 dargestellt. Für die Abbildung wurde das Verhältnis zwischen den relativen Konzentrationen von 1993 und 1996 gebildet. Dadurch können

die Unsicherheiten, die bei den Geschwemmselmessungen im Töss-Zulauf bestehen, umgangen werden. Die Darstellung zeigt um wieviel Prozente der Geschwemmsel eintrag durch die realisierten Massnahmen gegenüber der Ausgangssituation reduziert werden konnte¹³.

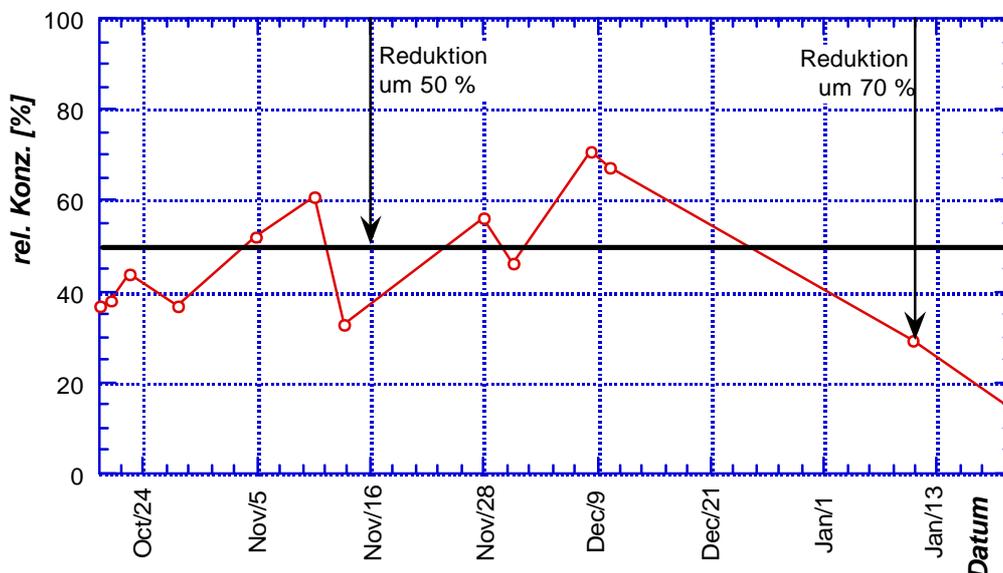


Abbildung 24 Relative Geschwemmselkonzentration in der umgebauten Wasserfassung im Vergleich mit dem Ausgangszustand (1993).

Abbildung 24 zeigt, dass mit dem Umbauprojekt gegenüber der ursprünglichen Fassungsdistribution der Geschwemmsel eintrag durchschnittlich um etwas mehr als 50 % reduziert werden konnte. Besonders effizient sind die umgesetzten Massnahmen im Oktober (relativ viel oberflächennahes Laub) und ab Ende Dezember (weniger Laub, mehr Holz und Samenhülsen). Während der Zeit, wo viel sohlennah transportiertes Laub anfällt, das zudem rasch aufgewirbelt wird, wirken die geschwemmselabweisenden Massnahmen etwas weniger stark (November und erste Hälfte Dezember).

3.4 BETRIEBLICHE UND ENERGETISCHE ASPEKTE

3.4.1 Ausgangslage

Gestützt auf Artikel 41 des Gewässerschutzgesetzes ist die Betreiberin des KWK Hard (Gemeinschaft Hard AG) grundsätzlich verpflichtet, sämtliches Geschwemmsel, das mit den Rechen dem Gewässer entnommen wird, zu entsorgen (vgl. Kapitel 1.4). Die baulichen Randbedingungen der Gemeinschaft Hard - die in einer städtischen Schutz

¹³ Bei den Messungen vom 14.11. und 28.11. wurde die Variante "nur linke Schütze offen" berücksichtigt.

verfügung geregelt sind - lassen jedoch nur wenig Spielraum zum Bau rationeller Entsorgungseinrichtungen (z.B. Zufahrt für Lastwagen zum Abtransport von Mulden). Deshalb wurde der Ansatz der Ursachenbekämpfung gewählt, das heisst, man versucht das Geschwemmsel bereits beim Fassungsbauwerk möglichst weitgehend zu reduzieren.

In der Laubfallzeit von Oktober bis Dezember fallen die wesentlichen Geschwemmselfrachten an. Gemäss der Situationsanalyse vom Herbst 1993 fand in diesen drei Monaten ein aufsummierter Frachteintrag in den Kanal von rund 300 m³ Laub und Holz statt (Dauerbetrieb).

Auf Grundlage der bisherigen Messungen sowie Erfahrungswerten auf anderen Anlagen müsste zur Erfüllung der behördlichen Auflagen auf der Anlage Hard ein Geschwemmselvolumen von jährlich mindestens 500 m³ mit entsprechenden Kosten von Fr 15'000.- (Fr. 30.-/m³) entsorgt werden. Würden zudem Fr. 100'000.- zum Aufbau einer rationellen Entsorgungslogistik (flexibles Kleinmuldensystem) investiert und die personellen Aufwendungen (ca. Fr. 10'000.-) aufgerechnet, so ergäben sich jährlich wiederkehrende Kosten von mindestens Fr. 30'000.-.

3.4.2 Betriebskonzept

Die Geschwemmselentnahme auf der Anlage Hard erfolgt zweistufig: Beim Grobrechen - eine Konstruktion aus federgespannten Stahlseilen mit 150 mm Abstand - werden die grösseren Teile und insbesondere auch die Siedlungsabfälle manuell entnommen und entsorgt (Tabelle 5).

Material	Massnahmen beim Grobrechen	Massnahmen beim Feinrechen
Laub	- Laub wird erst beim Feinrechen aufgefangen	- Entnahme mit autom. Rechen und Weiterleitung in Unterwasserkanal
Holz und Äste	- Manuelle Entnahme und Deponie im Nahbereich des Rechens - Sporadische Entsorgung als Brennholz durch Private	- Manuelle Entnahme und Deponie im Nahbereich des Rechens - Sporadische Entsorgung als Brennholz durch Private
Schlamm, Algen	- Schlamm und Algen werden erst beim Feinrechen aufgefangen	- Entnahme mit autom. Rechen und Weiterleitung in Unterwasserkanal
Siedlungsabfälle	- Manuelle Entnahme und Aussortierung - Sammlung in Container - Entsorgung via ordentliche Kehrichtabfuhr (KVA)	- Hauptanteil wird beim Grobrechen entnommen, Restmaterialentsorgung wie beim Grobrechen

Tabelle 5 Bestehendes Entsorgungskonzept des KWK Hard.

Der Feinrechen mit einem Stababstand von 50 mm direkt vor der Turbine funktioniert automatisch über einen Rechenbalken mit Niveausteuerng. Das entnommene Material wird (gemäss einer provisorischen Bewilligung des Kt. ZH) in einen SchwemmkanaI gefördert und dort mittels einer automatischen Wasserspülung in den Unterwasserkanal weitergeleitet.

Die Aufwendungen des Betreibers umfassen die tägliche Überwachung und Reinigung der beiden Rechenanlagen und die Entsorgung des Holzes und der Siedlungsabfälle.

3.4.3 Betriebswirtschaftliche Aspekte des Umbaus

Die behördliche Auflage der Geschwemmselentnahme verursacht dem KWK-Betreiber Kosten, die aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen möglichst tief zu halten sind, respektive durch Mehrproduktion von elektrischer Energie kompensiert werden sollten. Mit den geschwemmselabweisenden Massnahmen bei der Fassung können beide Ziele erreicht werden.

1. Geschwemmsel-Entsorgung

Mit der Inbetriebnahme des neuen Fassungsbauwerkes hat sich der personelle Aufwand für die manuelle Entnahme und Entsorgung erheblich reduziert, wenn gleich kaum quantitative Aussagen hierüber gemacht werden können (keine Erfassung der betrieblichen Aufwendungen). Gemäss den bisherigen Messungen beim Kanalufluss wird das Geschwemmselvolumen in etwa halbiert (vgl. Kapitel 3.3).

Die Entsorgung der gesammelten Siedlungsabfälle (Entsorgungsgebühr ca. 200 Fr./a) und des Holzes hat sich durch die Reduktion vereinfacht, stellt jedoch ohnehin kein grosses Problem dar.

2. Höhere Elektrizitätsproduktion

Die Reduktion des Geschwemmselanfalls hat sich in zweifacher Hinsicht positiv auf die Elektrizitätsproduktion ausgewirkt:

1. Auf den Laufrädern der Turbine bleibt weniger Geschwemmsel haften. Dies führt zu einer verbesserten Strömungsdynamik sowie einer höheren Lebenserwartung der Turbine.
2. Die Strömungsverluste infolge von Geschwemmselablagerungen an den Rechenstäben wurden reduziert. Die verfügbare hydraulische Fallhöhe kann dadurch besser ausgenutzt werden.

Für die Anlage Hard kann aufgrund der Beobachtungen eine Produktionssteigerung von ca. 10'000 - 15'000 kWh (mittlerer Jahresertrag rund 1 - 1.3 Millionen kWh) abgeschätzt werden.

3.4.4 Kosten/Nutzen-Betrachtungen

Die Gemeinschaft Hard AG als Betreiber der Anlage hat - nach Abzug der Bundes- und Kantonssubventionen - rund Fr. 150'000.- in das neue Fassungsbauwerk investiert. Hiervon können etwa 30'000 Fr. als werterhaltende Massnahmen verbucht werden, das heisst, dieser Betrag hätte ohnehin in den nächsten Jahren zum Erhalt des Kanaleinlaufes investiert werden müssen.

Aus der Sicht des Betreibers stellt sich die Frage der Rentabilität der getroffenen Massnahmen nur im Vergleich zu einer reinen Entsorgungslösung, da ein Handlungsbedarf (Erfüllung der behördlichen Auflage) bestand.

In Tabelle 7 sind die Betriebskosten für die zwei Varianten "Neue Fassung" und "Alte Fassung" zusammengestellt. Tabelle 6 zeigt für beide Varianten den geschätzten Geschwemmselanfall beim Rechen. Beim Dauerbetrieb wird das KWK auch bei hohen Geschwemmselspitzen betrieben (insgesamt 8 - 10 Tage).

Monat/Periode	"Neue Fassung"	"Alte Fassung"
September	20	40
Oktober	40	80
November	25	50
Dezember	25	50
Jan. - Aug.	50	100
Jahr ohne Dauerbetrieb	160	320
Jahr mit Dauerbetrieb	280	440

Tabelle 6 Geschwemmselanfall beim Rechen des KWK Hard für die alte und die neue Wasserfassung. Angaben in [m³].

	Neue Fassung	Entsorgung am Rechen
Investitionen	120'000.- Fr. 50'000.- Fr. ¹⁾	100'000.- Fr. ¹⁾
Jährliche Kapitalkosten (Annuität 6.5%, Verzinsung 5%, technische Lebensdauer 30 Jahre)	11'050.- Fr./a	6'500.- Fr./a
Personalaufwand	5'000.- Fr./a	10'000.- Fr./a ²⁾
Entsorgungskosten	4'800.- Fr./a	9'600 Fr./a ³⁾
Mehrproduktion Elektrizität (15'000 kWh à 16 Rp)	-2'400 Fr./a	0
Total Betriebskosten	18'450 Fr./a	26'100 Fr./a

1) Geschätzt für Mulden- und Beschickungssystem

2) Handling der Mulden (250h à Fr. 40.-)

3) 500 m³ à Fr. 30.-/m³)

Tabelle 7 Vergleich der Betriebskosten für den Fassungsombau mit der Variante für die Entsorgung des Geschwemmsels ohne Umbaumassnahmen.

Entsprechend Tabelle 7 reduzieren sich mit der neuen Fassung die jährlichen Betriebskosten von Fr. 26'100.- auf Fr. 18'450.-, womit jährlich rund Fr. 8'000.- eingespart werden können. Die Einsparungen ergeben sich hauptsächlich aufgrund des kleineren Personalaufwandes sowie der geringeren Entsorgungskosten. Die Mehrproduktion an Elektrizität macht vergleichsweise wenig aus.

3.5 FOLGERUNGEN

Die realisierten wasserbaulichen Massnahmen entfalten die geschwemmselabweisende Wirkung in ihrer Kombination. Mit einer Einzelmassnahme lässt sich kein vergleichbarer Effekt erzielen.

Die Sohlenschwelle ist mit einem Kragarm zu versehen. Eine ursprüngliche Variante mit einfacher Sohlenschwelle war bedeutend weniger effizient.

Die Spülschütze muss genügend gross dimensioniert werden, sodass Feststoffe vor der Kragschwelle abgesogen sowie Verstopfungen der Spülschütze vermieden werden können.

Als anspruchsvoll erwies sich die erosionssichere Dimensionierung der Kiesbank. Beim Einbau ist auf eine geeignete Grobschottermischung und eine tiefgründige Foundation der Kiesbankböschung zu achten.

Das Ziel, den Geschwemmseleintrag in die Fassung um 50 % zu reduzieren, wurde erfüllt.

Bei einem Triebwasserzufluss von 3 m³/s ist bei einem Tössabfluss < 10 m³/s mit folgenden durchschnittlichen Geschwemmselfrachten zu rechnen:

- im Oktober 500 kg FG¹⁴ /d = 100 kg TG/d = 1.7 m³/d
- im November/Dezember 300 kg FG/d = 65 kg TG/d = 1.0 m³/d

Weil das feinere Geschwemmsel den Rechen passieren kann, können die oben angegebenen Frachten um ca. 1/5 reduziert werden. *Im Oktober müssen damit täglich 1.4 m³ und im November/Dezember etwa 0.8 m³ Geschwemmsel pro Tag entsorgt werden.* Im Januar reduziert sich dieses Volumen auf 0.05 m³/d.

Bei grösseren Tössabflüssen - und dabei insbesondere nach längerer Trockenperiode - können weit grössere Geschwemmselfrachten in den Triebwasserkanal gelangen. Unter diesen Verhältnissen können Frachten von 10 - 20 m³/d erreicht werden. Bei extremen Verhältnissen, wie zum Beispiel am 16.10.96 (vgl. Abbildung 5), sind Spitzenwerte bis 40 m³/d möglich.

¹⁴ FG = Frischgewicht (Abtropfgewicht), TG = Trockengewicht. Umrechnungsfaktoren vgl. S. 14.

Weil die Geschwemmselkonzentration kurzfristig extreme Spitzenwerte aufweist und bei grösseren Abflüssen die geschwemmselabweisenden Massnahmen kaum mehr wirksam sind, stellt sich die Frage, ob aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen ein Betriebsunterbruch rentabel wird.

Beim KWK Hard werden bei einem Triebwasserzufluss von 3.5 m³/s pro Tag durchschnittlich rund 6'000 kWh Elektrizität produziert. Wird die Verminderung der Elektrizitätsproduktion infolge der hohen Geschwemmsellast mit 20 % veranschlagt, so werden pro Tag 4'800 kWh Energie produziert, was bei einem Abnahmepreis von 16 Rp./kWh rund Fr. 770.- entspricht. Bei einem Geschwemmselanfall von 10 m³ entstehen Kosten für das Handling der Mulden und die Entsorgung des Materials von Fr. 620.- (Schichtbetrieb für Reinigung Grobrechen und Handling der Mulden: 8 Stunden à Fr. 40.-; Geschwemmselentsorgung Fr. 30.- pro m³). Diese Zahlen zeigen, dass der KWK-Betrieb bei einem Geschwemmselanfall von über 5 - 10 m³/d nicht mehr rentabel ist. Unter diesen Verhältnissen hätte das KWK Hard im Herbst 1996 an 10 (bei einem Grenzwert von 5 m³/d) resp. 6 Tagen (Grenzwert von 10 m³/d) abgestellt werden müssen.

Aus denselben Gründen unterbricht das KWK Bärau an der Ilfis den Betrieb an 8 - 10 Tagen im Jahr (vgl. Tabelle 1), was einem Verfügbarkeitsverlust von 2.5 % entspricht.

Diese zwei Beispiele zeigen, dass bei der Optimierung des KWK-Betriebs das Schliessen der Fassung bei grösserem Geschwemmselanfall betriebswirtschaftlich sinnvoll sein kann.

4. GESCHWEMMSELABWEISENDE MASSNAHMEN BEI WASSERFASSUNGEN

4.1 MASSNAHMEN UND DEREN WIRKUNG

Die Situationsanalyse (Kapitel 2.2) zeigte, dass die Strömungsverhältnisse und die Geschwemmselprobleme bei jedem KWK verschieden sind. Aus diesem Grund gibt es keine Patentlösungen zur Reduktion der Geschwemmselprobleme bei KWK.

Für die Ausarbeitung konkreter Massnahmen sind folgende **Randbedingungen** zu untersuchen:

1. Das Geschwemmselaufkommen.
2. Die Zusammensetzung des Geschwemmsels.
3. Die Strömungsverhältnisse im Gewässer und vor dem Fassungseinlauf¹⁵.

Einzelmassnahmen und deren Wirkung

Mit den wasserbaulichen Massnahmen soll erreicht werden, dass sowohl das *sohlennahe Geschwemmsel* und damit auch das Geschiebe als auch das *schwimmende Geschwemmsel* am Eintritt in die Fassung gehindert und in die Unterwasserstrecke weitergegeben wird.

In Tabelle 8 werden verschiedene Massnahmen bezüglich ihrer geschwemmselabweisenden Wirkung bewertet.

Mit der kombinierten Wirkung von (5) und (6) wird in gestreckten Gewässerabschnitten versucht, ähnliche Strömungsverhältnisse wie an der Aussenseite einer Krümmung zu erzeugen.

Ein Umlenksporn allein unterstützt die Spiralströmung bei nur schwachen Krümmungen.

Im folgenden werden zwei Lösungsvorschläge für Wasserfassungen an der Aussenseite einer Krümmung sowie in einem gestreckten Gewässerabschnitt beschrieben. Anschliessend folgt eine Auflistung der wichtigsten Einzelmassnahmen.

¹⁵ Bei bestehenden Fassungen sollte untersucht werden, wie gross die Anteile zwischen gefasstem oberflächennahem, mittlerem und sohlennahem Wasser sind. Zusammen mit Geschwemmselerhebungen im Fliessgewässer kann damit aufgezeigt werden, ob geschwemmselarmes oder geschwemmselreiches Wasser in den Triebwasserkanal geleitet wird. Aufgrund dieser Voruntersuchungen lässt sich eine Prognose erstellen, inwiefern die bestehende Fassung optimiert werden kann.

Nr.	Massnahme	Wirkung	Probleme	Aufwand / Kosten
1	Kragsschwelle	Abweisung der über die Sohle transportierten Feststoffe. Nur in Kombination mit (2) oder (3) effizient.	Einschotterung	gering
2	Feststoffabzüge	Das sohlennahe Geschwemmsel wird durch Öffnungen in der Sohle abgezogen und ins UW gespült.	Verstopfung	hoch
3	Spülöffnung in der Wehrachse	Uferlinien- und sohlenparalleles Abziehen des sohlennahen Wassers. Wirkungslänge kann durch (1) verbessert werden.	Verstopfung, Wirkungslänge	mittel
4	Grobrechen	Zurückhalten von Grobholz	Verstopfung, regelmässige Wartung, bei HW Pikettdienst	gering
5	Kiesbank oder Buhnen am Gegenufer	Umlenken der Hauptstromrichtung bei NW und MW gegen die Fassung. In Kombination mit (6) Abweisen der sohlennahen Feststoffe im oberen Bereich des Fassungseinlaufs	Hochwassersicherheit muss gewährleistet bleiben	hoch
6	Umlenksporn	Erzeugen eines Kolkes am Fuss des Sporns mit Spiralströmung. Abweisen des sohlennahen Abflussanteils	Kolkentiefe	mittel
7	Tauchwand	Zurückhalten des an der Oberfläche transportierten Geschwemmsels. In Kombination mit (8) gute Wirkung	Konstanter Stauspiegel von Vorteil	gering
8	Spülklappe	Unmittelbar im Anschluss an den Fassungseinlauf anzuordnen. Permanentes oder regelmässiges Abführen des oberflächennahen Wasseranteils. In Kombination mit (7) gute Resultate	Konstanter Stauspiegel von Vorteil	mittel

Tabelle 8 Einzelmassnahmen mit Kombinationsmöglichkeiten zur Abweisung von Geschwemmsel von einer Wasserfassung.

1. Fassung an der Aussenseite einer Krümmung

Die wahrscheinlich vorteilhafteste Lage einer Wasserfassung liegt an der Aussenseite einer Krümmung. Die lokalen Strömungsverhältnisse bewirken, dass die sohlennahen Feststoffe (Geschwemmsel und Geschiebe) gegen die Gewässermitte abgelenkt werden.

Gleichzeitig treibt das schwimmende Geschwemmsel direkt auf die Fassung zu. Durch entsprechende Massnahmen wird es wirkungsvoll am Eintritt in die Fassung gehindert (Tauchwand und uferparalleles Abführen der obersten Wasserschicht ins Unterwasser). Sowohl Modellversuche als auch das Beispiel des KWK Rieter an der Töss bei Winterthur zeigen die effiziente feststoffabweisende Wirkung dieses Fassungsstyps.

2. *Fassung in gestreckten Gewässerabschnitten*

Bei seitlichen Wasserentnahmen aus geraden Fliessgewässerabschnitten besteht eine starke Tendenz, dass das sohlennahe Wasser konzentriert in die Fassung geleitet wird. Bei diesen ungünstigen Verhältnissen sind Massnahmen möglich, die einerseits die Strömungsverhältnisse im Gewässer beeinflussen oder im Fassungsquerschnitt das sohlennahe Wasser zurückweisen (Vgl. Tabelle 8).

Als Gesamtkonzept bei geraden Fliessstrecken kann ein in der Wehrachse angeordneter, um 45° abgewinkelter, überströmter und geschlossener Kanal gute Resultate erzielen¹⁶. Die über die Sohle transportierten Feststoffe werden unter dem vorspringenden Kanal direkt ins Unterwasser gespült (Geschiebeabzug). Das nahe der Wasseroberfläche transportierte Geschwemmsel wird über den gedeckten Kanaleinlauf in das Tosbecken geleitet. Dieser Überlauf und der Abfluss durch den Geschiebeabzug bilden den Dotierabfluss der Restwasserstrecke. Eine generelle Überprüfung in einem hydraulischen Modell ist empfehlenswert.

Wehr- und Fassungsbetrieb

Die Umsetzung der wasserbaulichen Massnahmen sollte durch eine Optimierung des Wehr- und Fassungsbetriebs ergänzt werden. Wie bereits in Kapitel 3.4.3 aufgezeigt, kann es aus betriebswirtschaftlichen Gründen lohnenswert sein, die Fassung bei extremen Geschwemmselspitzen zu schliessen.

Bilden sich vor dem Wehr und der Fassung schwimmende Geschwemmselteppiche, so sollten diese regelmässig über das Wehr ins Unterwasser abgeführt werden. Dadurch kann verhindert werden, dass regelmässig Geschwemmselpakete unter der Tauchwand hindurch in die Fassung gelangen.

Bei Wasserfassungen aus Weiheranlagen kann durch das Abführen des Oberflächenwassers über das Wehr zudem verhindert werden, dass sich das auf dem Wasserspiegel transportierte Geschwemmsel auf der Sohle absetzt (von wo es durch die Strömung kaum mehr weggespült werden kann und damit zu einer beschleunigten Verlandung führt).

¹⁶ Adaption der Wirkungsweise einer Frontalfassung.

4.2 BETRIEBLICHE EMPFEHLUNGEN

Auf Anlagen mit einem hohen Aufkommen von Geschwemmsel lohnt es sich, das Fassungsbauwerk näher zu analysieren und zu beobachten. Die Erfolgsmessungen beim Pilotprojekt des KWK Hard zeigen deutlich, welche Möglichkeiten im Bereich der Fassungsbauwerke liegen. Generelle Aussagen sind kaum möglich, vielmehr ist eine fallweise Prüfung der betrieblichen und baulichen Situation notwendig.

Bezüglich der Rentabilität der Realisierung geschwemmselabweisender Massnahmen bei der Fassung ist es sinnvoll, die betrieblichen Aufwendungen (Arbeitsstunden) für die Entnahme und Entsorgung des Geschwemmsels zu ermitteln. Mit diesen Angaben lassen sich die Investitionsgrenzen durch Kosten / Nutzen-Vergleiche abschätzen.

Bei der Sanierung bestehender Anlagen (und bei Neubauten) empfehlen wir, frühzeitig mit den Behörden Kontakt aufzunehmen. Mit offenen und transparenten Entscheidungsgrundlagen schafft der Bauherr die Voraussetzungen für konstruktive Verhandlungen. Bei gesetzlichen Auflagen kann die technische (und finanzielle) Machbarkeit berücksichtigt werden.

4.3 EMPFEHLUNGEN ZUR PROJEKTIERUNG

Bei Empfehlungen für die Optimierung von Wasserfassungen an Fließgewässern muss unterschieden werden zwischen Neuanlagen und Verbesserungen an bestehenden Anlagen.

Bei *Neuanlagen* kann die gesamte Fassung als einheitliches Bauwerk den lokalen Strömungsverhältnissen angepasst werden.

Bei *Umbauten* werden Korrekturen vorgenommen; ungünstige Randbedingungen können jedoch häufig ohne grösseren Aufwand nicht behoben werden.

Für die Projektierung sind in Abhängigkeit der vorhandenen oder potentiellen Geschwemmselprobleme sowie der verfügbaren finanziellen Mittel unterschiedliche Verfahren zur Lösungssuche denkbar.

Im folgenden wird der Ablauf von drei Verfahren vorgestellt, die sich im Detaillierungsgrad der Bestandaufnahme und des Variantenstudiums, bezüglich der Qualität der Resultate sowie in den Kosten unterscheiden.

1. Einfaches Verfahren

Das einfache Verfahren empfiehlt sich für Abklärungen bei Wasserfassungen von kleinen KWK, die mittlere bis grosse Geschwemmselprobleme aufweisen.

Mit dem im Fließdiagramm von Abbildung 25 dargestellten Verfahren soll mit minimalem Aufwand abgeklärt werden, ob und wie eine bestehende Wasserfassung bezüg

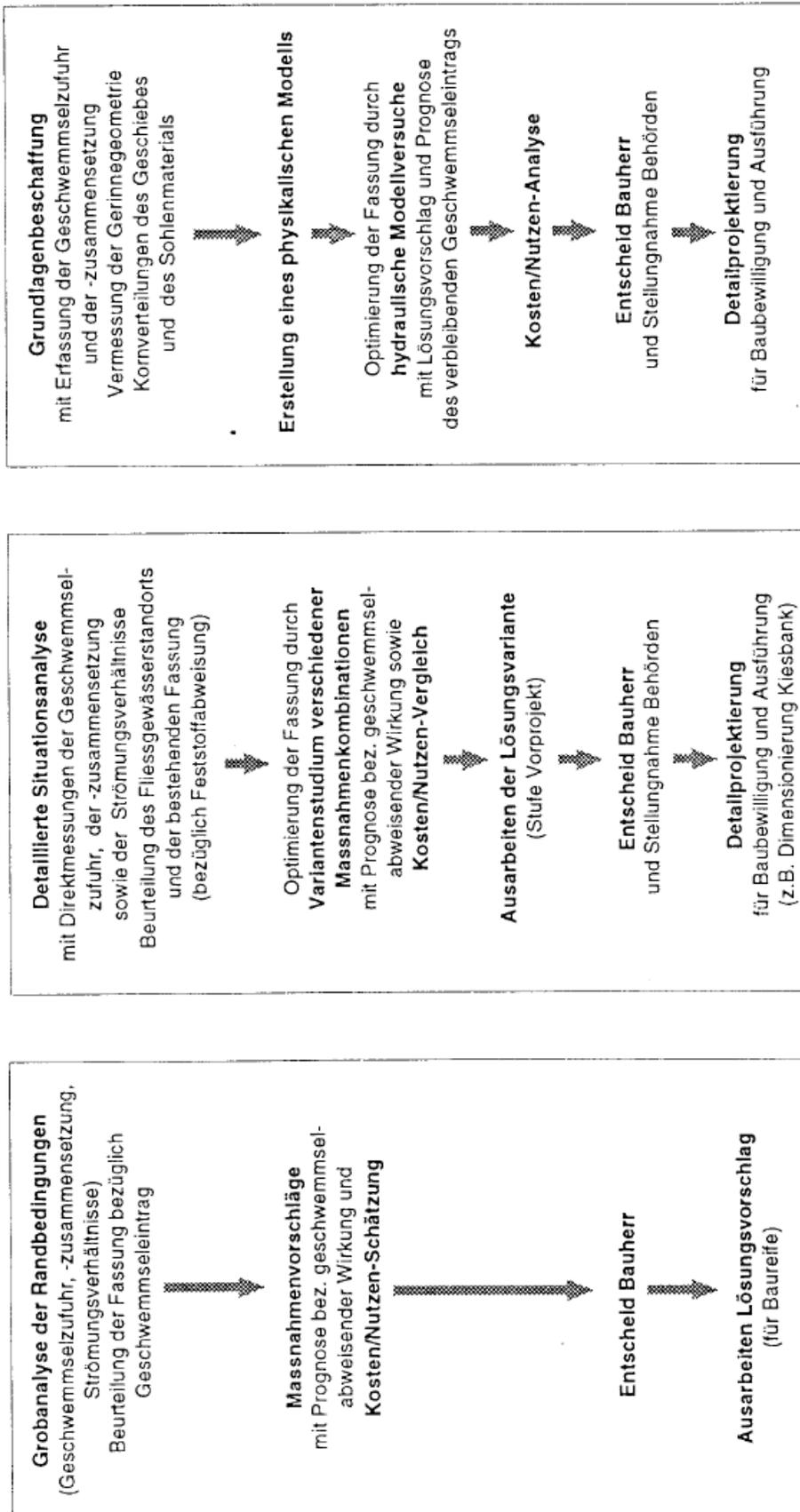


Abbildung 25 Fließdiagramm für den Projektierungsablauf des einfachen Verfahrens (links), des detaillierten Verfahrens (Mitte) sowie bei der Durchführung von hydraulischen Modellversuchen (rechts).

lich Geschwemmsel eintrag wesentlich verbessert werden kann. Dieses Verfahren erreicht *keine vollständige Optimierung der Wasserfassung*.

2. Detailliertes Verfahren

Das detaillierte Verfahren empfiehlt sich bei Neuanlagen und bei KWK mit grossen Geschwemmselproblemen.

Durch Direktmessungen werden die Strömungsverhältnisse im Bereich des Fassungseinlaufs sowie der Eintrag von sohlennahem, mittlerem und oberflächennahem Geschwemmsel analysiert (vgl. Abbildung 25). Unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse werden verschiedene Massnahmenkombinationen ausgearbeitet und miteinander verglichen (Geschwemmsel- und Geschiebeabweisung, Kosten).

Es wird empfohlen, nach der Realisierung der Massnahmen eine Erfolgskontrolle durchzuführen. Mit diesem Vorgehen lässt sich ein *zuverlässiger Lösungsvorschlag* ausarbeiten (Beispiel Pilotprojekt KWK Hard).

3. Modellversuche

Bei einem Neubau grösserer KWK wird die Durchführung von hydraulischen Modellversuchen empfohlen. Dabei können verschiedene Fassungsdispositionen überprüft und miteinander verglichen werden. Der Modellversuch ermöglicht die *Optimierung der Lösungsvariante* (Abbildung 25). Es wird empfohlen, nach der Realisierung der Massnahmen eine Erfolgskontrolle durchzuführen.

DIANE Klein-Wasserkraftwerke / DIANE Petites centrales hydrauliques

PUBLIKATIONEN / PUBLICATIONS

- **Elektrizität aus Trinkwasser-Systemen / L'eau potable génératrice d'électricité**
Inventar und Potentialerhebung / Inventaire et étude du potentiel.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.752 d+f 10.20 Preis / Prix: Fr.
- **Nutzen statt Aufgeben**
Modernisieren und reaktivieren von Klein-Wasserkraftwerken, Beurteilungskriterien.
Bestellnummer EDMZ : 805.173 d Preis: Fr. 17.35
- **Rénover au lieu d'abandonner**
Modernisation et remise en service des petites centrales hydrauliques.
Numéro de commande OCFIM : 805.173 f Preis: Fr. 17.35
- **Pico-Kraftwerke / Pico-centrales**
Kleinste Wasserkraftwerke mit Eigenleistungen bauen. / Les toutes petites centrales à installer soi-même. 8 Beispiele im Detail / 8 exemples en détail.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.196 d+f 31.60 Preis / Prix: Fr.
- **Elektrizität aus Abwasser-Systemen / L'eau usée génératrice d'électricité**
Konzept, Realisation, Potential / Concept, réalisation, potentiel.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.209 d+f 16.20 Preis / Prix: Fr.
- **L'eau usée génératrice d'électricité**
Dossier technique et étude du potentiel.
Numéro de commande OCFIM : 805.211 f Preis: Fr. 22.00
- **Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken**
Energierückzahldauer und Energieerntefaktor.
Bestellnummer EDMZ : 805.630 d (alte Nummer: 805.760) Preis: Fr. 6.75
- **Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie**
Situationsanalyse; Bestellnummer EDMZ : 805.631 d (alte Nummer: 805.761 d) Preis: Fr. 10.90
- **Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux**
Analyse de la situation.
Numéro de commande OCFIM : 805.631 f Preis: Fr. 10.90
- **Trinkwasser-Kraftwerke / Petites centrales hydroélectriques sur l'eau potable**
Technische Anlagendokumentation / Documentation technique.
8 Beispiele im Detail / 8 exemples en détail.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.632 d+f 19.80 Preis / Prix: Fr.
- **Handbuch 1997, Kleinwasserkraftwerke ab Juni 1997**
Informationen für Planung, Bau und Betrieb.
Bestellnummer EDMZ : 805.633 d Preis: Fr. 4.50
- **Manuel 1997, Petites centrales hydrauliques**
Informations sur la planification, la construction et l'exploitation.
No. de commande OCFIM : 805.633 f Preis: Fr. 10.00
- **Gesamtschau Kleinwasserkraftwerke**
Ökonomische und ökologische Aspekte.
Bestellnummer EDMZ : 805.634 d Preis: Fr. 9.50
- **Aperçu général sur les petites centrales hydrauliques**
Aspects économiques et écologiques.
Numéro de commande OCFIM : 805.634 f Preis: Fr. 9.50
- **Fische und Kleinwasserkraftwerke / Poissons et petites centrales hydrauliques**
Kostengünstige Aufstiegshilfen für Fische und Kleinlebewesen / Solutions avantageuses de franchissement pour les poissons et la microfaune aquatique.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.635 d+f 30.00 Preis / Prix: Fr.

DIANE Klein-Wasserkraftwerke / DIANE Petites centrales hydrauliques GRUNDLAGENBERICHTE / RAPPORTS

- **Geschwemmsel bei Kleinwasserkraftwerken** *ab September*
1997
Optimierung der Wasserfassung
Wasserbauliche Massnahmen zur Verminderung des Schwemmguteintrages und Informationen für die
Planung, Optimierung und den Betrieb.
Bestellnummer EDMZ : 805.636 d Preis: ca. Fr.
15.00
- **Vernetzung bei Kleinwasserkraftwerken** *ab September*
1997
Biologisches Kontinuum der Gewässer erhalten
Untersuchungen über das Gewässerkontinuum für Fische und Kleinlebewesen.
Bestellnummer EDMZ : 805.637 d Preis: ca. Fr.
15.00

PROSPEKTE / PLAQUETTES

- **Faltblatt "Ökonomie und Ökologie bei der Erneuerung":** (gratis)
- **"Schriftenreihe DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke ; Information & Beratung DIANE" / "Série de publications du projet DIANE Petites centrales hydrauliques ; information & conseils DIANE"**

EDMZ Nr. / Numéro de commande OCFIM : 805.638 d+f *(ab Oktober 1997 / dès octobre 1997)*
D () provisor. Vorabzug bei der Projektleitung erhältlich / Version provisoire disponible auprès de la direction du projet.*
(gratis/gratuit)

ANFERTIGUNG AUF BESTELLUNG / PRODUCTION SUR DEMANDE

- **Folienset für Hellraumprojektor "Ökologie und Kleinwasserkraftwerke"** (Preis: Fr. 130.00)
- **Portrait DIANE Klein-Wasserkraftwerke /
Portrait rojet DIANE Petites centrales hydrauliques /
Ritratto progetto DIANE Piccole centrali idrauliche /
Portrait DIANE Project Small Hydro** (gratis / gratuit / gratuitement / free)
- **Gesamtkonzept DIANE Klein-Wasserkraftwerke (*)** (Preis: Fr. 50.00)
- **Diverse Informationsunterlagen betreffend Kleinwasserkraftwerke / Information concernant les petites centrales hydraulélectriques:**
Schweiz: Bezug bei Infoenergie. Ausland: Auskunft bei SKAT
Suisse: Commande auprès de Infoénergie. Etranger: Information auprès de SKAT

Bezug / Commande:

Infoenergie Nordwestschweiz, Tel. 062 / 834 03 03
c/o Nova Energie GmbH, Schachenallee 29, 5000 Aarau Fax 062 / 834 03 23

SKAT; Fachstelle der Schweizerischen Entwicklungszusammenarbeit Tel. 071 / 228 54 54
für Technologie-Management, Vadianstrasse 42, CH - 9000 St. Gallen Fax 071 / 228 54 55

(Preise inkl. MWSt, excl. Versandkosten / Prix incl. TVA, excl. emballage et port)

Bezug der mit (*) markierten Publikation / Commande de la publication marquée avec (*) :

DIANE Klein-Wasserkraftwerke / DIANE petites centrales hydrauliques Tel. 01 / 762 18 18
c/o ITECO Ingenieurunternehmung AG, Postfach / Boîte postale Fax 01 / 762 18 15
CH - 8910 Affoltern am Albis

(Selbstkostenpreise inkl. MWSt und Versandkosten / Prix de production incl. TVA, emballage et port.)