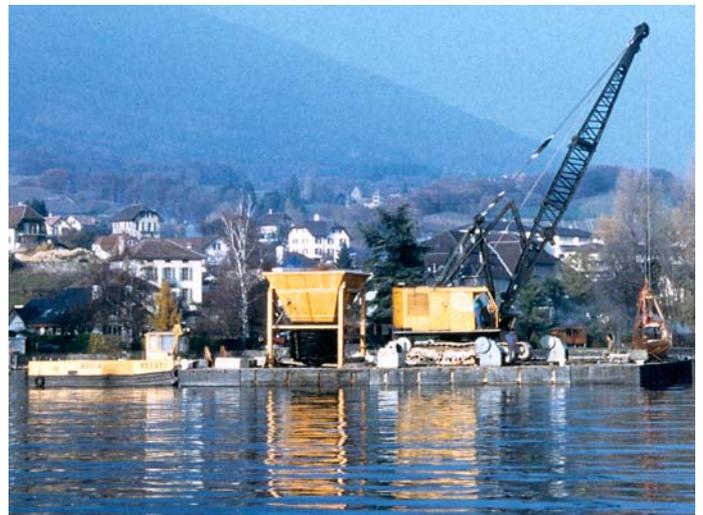


**MITTEILUNGEN ZUM
GEWÄSSERSCHUTZ**

NR. 32

**Unverschmutztes
Aushub- und
Ausbruchmaterial:
Schüttung in Seen im
Rahmen des GSchG**



**Bundesamt für Umwelt, Wald und
Landschaft (BUWAL)**

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
*Das BUWAL ist ein Amt des Eidg. Departements für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)*

Autoren

Alfred Wüest, Felix Ramisch (EAWAG)
Daniel Hefti (BUWAL)

Expertengruppe

A. Allemann (Basler & Hofmann)
M. Boltz (Kanton Nidwalden)
M. Gessner (EAWAG)
B. Griesser (Basler & Hofmann)
R. Müller (EAWAG)
E. Staub (BUWAL)

Download PDF

www.umwelt-schweiz.ch/publikationen
(eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich)
Code: MGS-32-D

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		
1.	Einleitung	1
2.	Seeschüttungen und Seeökologie	3
2.1	Schüttmaterial	3
2.1.1	<i>Zusammensetzung des Gesteins</i>	3
2.1.2	<i>Ausbruchmethoden</i>	3
2.2	Wirkung des Schüttmaterials im See	6
2.2.1	<i>Chemische Auswirkungen</i>	6
2.2.2	<i>Topografische Auswirkungen und Durchlässigkeit des Seegrundes</i>	6
2.2.3	<i>Trübung im See</i>	7
2.3	Biologische Wirkung von Seeschüttung	10
2.3.1	<i>Phytoplankton</i>	10
2.3.2	<i>Zooplankton</i>	10
2.3.3	<i>Makrophyten</i>	11
2.3.4	<i>Makroinvertebraten</i>	12
2.3.5	<i>Fische</i>	12
2.3.6	<i>Wasservögel und Limikolen</i>	13
2.4	Schütt- und Schutztechniken	14
2.5	Bisherige Erfahrungen	17
2.5.1	<i>Urnersee (Seelisbergtunnel, N2)</i>	17
2.5.2	<i>Neuenburgersee Nordufer (N5)</i>	17
2.5.3	<i>Neuenburgersee Südufer (Fanel)</i>	17
2.5.4	<i>Vierwaldstättersee (Uferschüttung Alpenquai, Luzern)</i>	18
2.5.5	<i>Reussdelta Urnersee (N4-Umfahrung Flüelen, NEAT)</i>	18
3.	Fragenkatalog zur Planung von Seeschüttungen	19
3.1	Rechtliche Basis	19
3.2	Potenzielle Nutzungskonflikte	19

3.3	Fragen zum potenziellen Schüttgebiet	20
3.3.1	<i>Abiotische Eigenschaften</i>	20
3.2.2	<i>Biotische Eigenschaften</i>	20
3.4	Fragen zum Schüttmaterial und seinen Auswirkungen	22
3.5	Fragen zur Technik und Überwachung	23
3.5.1	<i>Schütttechnik</i>	23
3.5.2	<i>Überwachung und Erfolgskontrolle</i>	23
4.	Literaturliste	25

Vorwort

Die Gewässerschutzgesetzgebung bezweckt, die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen integral zu schützen. Deshalb sind die Bundesvorschriften relativ restriktiv, was das Einbringen von festen Stoffen in Seen betrifft:

Seeschüttungen sind nur mit unverschmutztem Material und im Rahmen von Revitalisierungsprojekten oder für standortgebundene Bauten mit überwiegend öffentlichem Interesse erlaubt.

Dabei sind die Auflagen bezüglich Gewässerschutz, Fischerei sowie Natur- und Heimatschutz zu berücksichtigen.

Die vorliegende Publikation bietet eine Vollzugshilfe für die Planung und Durchführung von Seeschüttungen, die im Rahmen der Gesetze erlaubt sind. Auch wenn unverschmutztes Aushub- oder Ausbruchmaterial keine akute Gefahr bezüglich Verunreinigung darstellt, ist das Einbringen von solchen Stoffen immer mit Eingriffen in das aquatische Milieu verbunden. Allfällige Beeinträchtigungen können aber in Grenzen gehalten werden, wenn die Schüttung technisch sorgfältig erfolgt und den ökologischen Erfordernissen Rechnung getragen wird. Bei klarer Zielsetzung, entsprechender Ausführung sowie Überwachung von Schüttung und Auswirkungen sind in gewissen Fällen und nach Ablauf einer Regenerationsphase tatsächlich ökologische Verbesserungen erreichbar. Dies ist zum Beispiel bei der Wiederherstellung von Flachwasserzonen der Fall; für die Makrophyten und ihre begleitende Fauna (Jungfische, Laichtiere, Wirbellose usw.) stellen die neu entstandenen Flachwasserzonen eine Kompensation für verlorene Lebensräume dar.

Gewässerschutz
und Fischerei

Dr. H.U. Schweizer

1. Einleitung

Der Bau grosser Infrastrukturanlagen (Nationalstrassen, NEAT, Bahn 2000, usw.) produziert oft riesige Mengen von Aushub- und Ausbruchmaterial, dessen Lagerung und Bewirtschaftung sich als schwierig erweist. Neben dem Material, das wiederverwendet werden kann, muss überschüssiges Material zum Teil über lange Strecken transportiert werden, um es abzulagern. Die dabei anfallenden Kosten und die entstehende Umweltbelastung können dabei beträchtlich sein. Deshalb wurde die Frage aufgeworfen, ob überschüssiges Material in Seen geschüttet werden kann.

Da eine Seeschüttung das aquatische System belastet, dürfen feste Stoffe nur unter den eng begrenzten Randbedingungen eingebracht werden, die im **Bundesgesetzes vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (GSchG)** festgehalten sind:

- **Nach Artikel 6 GSchG ist es untersagt, Stoffe, die Wasser verunreinigen können, in ein Gewässer einzubringen.** Dieser Artikel hat zum Ziel, die Gewässer vor Verunreinigungen zu schützen.
- **Nach Artikel 39 GSchG ist es zudem grundsätzlich untersagt, feste Stoffe in Seen einzubringen, auch wenn diese das Wasser nicht verunreinigen.** Ziel dieser Vorschrift ist der "quantitative" Schutz der Seen: Seen dürfen nicht als Deponieraum genutzt werden und die natürliche Verlandung soll nicht künstlich beschleunigt werden. Auch soll die Integrität der Uferzone, welche den produktivsten biologischen Bereich eines Sees darstellt, geschützt werden.

Die Bestimmungen des Bundes sind somit klar auf die Schutzinteressen ausgerichtet. Ausgeschlossen sind deshalb das Einbringen von verschmutztem Material wie auch Seeschüttungen, die ausschliesslich ökonomische Ziele verfolgen (z.B. Deponien, Zwischenlagerungen). Da aber das GSchG auch eine Verbesserung des ökologischen Zustands zum Ziel hat, können die zuständigen Instanzen Schüttungen erlauben, wenn dadurch eine Flachwasserzone ökologisch aufgewertet wird (Art. 39, Abs. 2, Bst. b, GSchG). Zudem können kantonale Behörden Schüttungen für standortgebundene Bauten in überbautem Gebiet bei überwiegend öffentlichem Interesse bewilligen (Art. 39, Abs. 2, Bst. a, GSchG).

Kommt aufgrund der Gewässerschutzgesetzgebung eine Schüttung in Frage, sind weiter die folgenden Vorschriften zu berücksichtigen:

- Die fischereirechtlichen Auflagen können im Rahmen der Bewilligung nach Artikel 8 des **Bundesgesetzes vom 21. Juni 1991 über die Fischerei (BGF)** festgelegt werden.
- Weiter sind die Artikel 18, Absatz 1bis, und 21, Absatz 1, des **Bundesgesetzes vom 1. Juli 1966 über den Natur- und Heimatschutz (NHG)** sowie die dazugehörigen Verordnungen in die Beurteilung einzubeziehen.

- Schliesslich muss berücksichtigt werden, dass Seeschüttungen über 10'000 m³ nach Ziffer 30.3 des Anhangs der **Verordnung vom 19. Oktober 1988 über die Umweltverträglichkeitsprüfung UVP**-pflichtig sind.

Auch die erlaubten Seeschüttungen stellen heikle und komplizierte Vorhaben dar. Die damit verbundene Umweltbelastung hängt von zahlreichen Faktoren ab, insbesondere von der Art des Einbringens des Materials. Die vorliegende Broschüre versucht deshalb, eine Übersicht über die Probleme und die derzeit vorliegenden Erfahrungen zu geben. Sie zeigt in Kapitel 2 die wesentlichsten ökologischen Zusammenhänge auf, die mit der Schüttung von Ausbruchmaterial in Seen zusammenhängen. Kapitel 3 listet sodann in einem Fragenkatalog die Punkte auf, welche berücksichtigt werden müssen, um Seeschüttungen zu optimieren. Damit sollte es möglich sein, im Einzelfall die notwendigen Rahmenbedingungen für eine Seeschüttung festzulegen.

2. Seeschüttungen und Seeökologie

2.1 Schüttmaterial

Im folgenden beschränken wir uns auf **unverschmutztes mineralisches Aushub- und Ausbruchmaterial**, wie z.B. Gestein aus dem Tunnelbau (BUWAL, 1997). Die Verwendbarkeit von Sediment aus Hafenbecken und Schifffahrtsrinnen, welche oft erheblich verunreinigt sind, kann nach BUWAL (1995) beurteilt werden. Bei der Beurteilung von Ausbruchmaterial bezüglich ökologischer Verträglichkeit für Schüttungen in Seen spielen die mineralogische Zusammensetzung des Gesteins sowie die Ausbruchmethoden eine entscheidende Rolle.

2.1.1 Zusammensetzung des Gesteins

Gewisse Gesteine enthalten natürlicherweise lösliche Stoffe, welche die Gewässer verschmutzen können. Entsprechend können diese Stoffe auch im Aushub- und Ausbruchmaterial vorkommen. **Organische Komponenten** wie Kohlenwasserstoffe in Ölschiefen (Beispiel Neuenburgersee: Ausbruchmaterial N5) können zu erhöhter Sauerstoffzehrung im See führen. **Anorganische Komponenten** (Salz, Gips oder Kalk) können ebenfalls zu Problemen führen, beispielsweise wenn Kalkstein in einen See mit wenig Säurebindungsvermögen (kristallines Einzugsgebiet) geschüttet wird. Leichtlösliche **Schwermetallverbindungen** sind auch zu beachten.

2.1.2 Ausbruchmethoden

Die zwei in der Schweiz üblichsten Ausbruchmethoden sind der konventionelle Sprengvortrieb sowie der Einsatz von Tunnelbohrmaschinen (TBM).

Beim konventionellen **Sprengvortrieb** wird das Ausbruchmaterial mit Sprengstoff, der in Bohrlöcher gefüllt wird, herausgesprengt. Die Art der erzeugten Gesteinsfragmente hängt einerseits von der Sprengtechnik und andererseits vom Gesteinsaufbau ab. Der Anteil an kleinen Feststoffteilchen (Ton, Fein- und Mittelsilt; Tabelle 1, Abbildung 1) ist bei der Sprengung gering, sofern diese Grössenklassen nicht natürlicherweise im Gestein schon vertreten sind.

Bei Sprengungen werden 0.3 bis 1.5 kg Sprengstoff pro m³ Gesteinsmasse verwendet (SAXER & LUKAS, 1997). Von der Palette der verschiedenen Sprengstoffe sind die üblichsten (wie Gamsit, Dynamit) Gelate auf Ammonium-Nitrat-Basis. SAXER & LUKAS (1997) haben die löslichen Komponenten in Ausbruchmaterial aus Sprengvortrieb analysiert. Stickstoff wurde in folgenden Verbindungen gefunden (Angaben pro Tonne Ausbruch):

Nitrat (NO ₃ ⁻):	6.0 bis 15.0	g-N / Tonne
Nitrit (NO ₂ ⁻):	1.0 bis 2.4	g-N / Tonne
Ammonium (NH ₄ ⁺):	0.2 bis 3.3	g-N / Tonne

Tabelle 1: Korndurchmesser sowie übliche Bezeichnungen und Bestimmungsmethoden. Nach MÜLLER (1964), modifiziert nach SNV (1993).

100										10										1										0,1										0,01										0,001 mm										0,1										0,01 μ																																																																					
																														Laser - Technik																																																																																																													
																																								Elektronen-Mikroskop										Ultra-Mikroskop																																																																																									
																																								Mikroskop mit Quarz-Optik und UV-Licht																																																																																																			
																																								Licht-Mikroskop																																																																																																			
																																																		Mikrolupe mit Spezielskala																																																																																									

werden, dass lösliche Komponenten leichter aus feinem, suspendiertem als aus grobem, kompaktem Schüttmaterial herausgelöst werden.

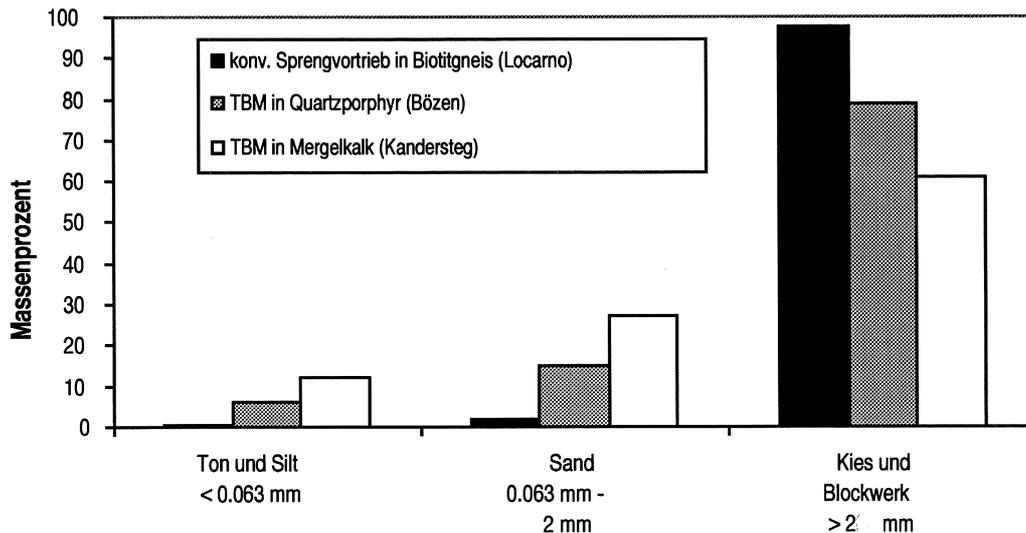


Abbildung 1: Die Korngrößenverteilung von Ausbruchmaterial hängt von der Art des Gesteins und von der Ausbruchmethode ab. Bei Tunnelbohrmaschinen (TBM) fällt ein erheblicher Teil als Ton, Fein- und Mittelsilt (< 20 µm) an, welche für die Trübung von Bedeutung sind. Nach THALMANN (1994; 1996), modifiziert.

Zur Vortriebssicherung werden auch **Injektionsmittel** (unter Verwendung von Erstarrungsbeschleunigern) zur Abdichtung von Bergwasser und zur Verfestigung von Lockergestein eingesetzt. Es ist damit zu rechnen, dass Teile des Injektionsgutes ins Ausbruchmaterial gelangen. In solchen Fällen handelt es sich nicht mehr um unverschmutztes Ausbruchmaterial. Die Verwendbarkeit als Schüttmaterial muss überprüft werden. Untersuchungen von SAXER & LUKAS (1997) lassen abschätzen, welche Anteile aus der Vortriebssicherung entstammen. Für Metalle wurde gefunden (Angaben pro Tonne Ausbruch):

Natrium (Na):	ca. 40 bis 50 g-Na / Tonne
Kalium (K):	ca. 15 g-K / Tonne
Aluminium (Al):	ca. 3 g-Al / Tonne

Schliesslich ist bei allen Ausbruchmethoden der Einsatz von **Ölen** (Schmiermittel, Hydrauliksysteme usw.) erforderlich. Diesem Aspekt wurde in der Vergangenheit Beachtung geschenkt, beispielsweise beim Ausbruchmaterial des Seelisbergtunnels. Bei einem Ölverbrauch von einigen 10 Litern pro Tag ergab sich nur eine geringe Belastung von einigen Gramm pro Tonne Material, was im Vergleich mit andern Quellen (z.B. Abgase, Uferstrassen) wenig ist. Die Verunreinigung war daher lokaler Natur (NZZ, 1974; EAWAG, 1973a,b). Moderne Maschinen verlieren – abgesehen von Unfällen – kaum noch Öl.

2.2 Wirkung des Schüttmaterials im See

2.2.1 Chemische Auswirkungen

Die chemische Zusammensetzung des Schüttmaterials nimmt Einfluss auf die Wasserqualität und kann im ungünstigsten Falle ökotoxisch wirken (SAXER & LUKAS, 1997). Folgende negative Auswirkungen können im Gewässer auftreten:

- Verschmutzungen durch natürliche Gesteinskomponenten;
- Sauerstoffzehrung durch eingebrachte organische Verbindungen (z.B. Ölschiefer);
- für den See untypisches Gestein kann die chemische Zusammensetzung des Wassers verändern (z.B. lösliche Mineralien wie Gips oder Kalk in einem mineralarmen Gewässer).

2.2.2 Topographische Auswirkungen und Durchlässigkeit des Seegrundes

Abhängig vom Ziel der Schüttung (Bildung neuer Flachwasser- oder Uferzonen, Auffüllen von Baggerlöchern, etc.) wird die Topographie und die Struktur des Seebodens verändert. Die geringsten Veränderungen sind dann zu erwarten, wenn:

- natürlicherweise bereits wesentliche Mengen an Feststoffen dem See zugeführt werden (Mündungsbereich geschiebeführender Flüsse);
- das Schüttmaterial dem natürlichen Seesediment weitgehend entspricht (Gesteinsart, Rundung, Form, Korngrößenverteilung).

Topographische Veränderungen des Seebodens können Tiefenwasserströmungen umlenken und so lokal die Sauerstoffzufuhr vermindern. In der Flachwasserzone wird die Wellenbrechung verändert.

Durch Schüttmaterial können Seegrund und Ufer sowohl stabilisiert als auch destabilisiert werden, wobei Schüttmaterial, -technik und -geometrie sowie der Untergrund eine Rolle spielen. Daneben besteht die Gefahr von Setzungen des Seebodens, des Seeufers oder sogar des dahinterliegenden Geländes.

Weiter kann das Schüttmaterial die Durchlässigkeit des Seebodens negativ beeinflussen, insbesondere bei Ablagerung von Feinstoffen (vgl. Kap. 2.2.3), welche eine künstliche Versiegelung (Kolmation) des Sedimentes bewirken. Ausnahmsweise kann die Kolmation des Sedimentes erwünscht sein: Im Arendsee (Deutschland) beispielsweise wurde durch Seekreideschüttungen die Rücklösung von Phosphor aus Sedimenten unterbunden (HGF, 1997; ROENICKE et al., 1997), wobei solche Schüttungen aber auch einen ökologischen Preis haben (Zerstörung von Bodenorganismen und Fischeiern). Die Abdichtung eines wertvollen Sedimentarchivs wäre besonders unerwünscht, da dadurch Informationen über die Vergangenheit (z.B. Klima) unzugänglich würden.

2.2.3 Trübung im See

Der überwiegende Teil von Schüttmaterial ist grobkörnig, sinkt rasch zu Boden und wird nicht verfrachtet. Besteht das Schüttmaterial zu einem wesentlichen Anteil aus Feinstoffen, so tritt erhöhte Trübung auf. Der Zusammenhang von Korngrösse und Sinkgeschwindigkeit ist in Abbildung 2 und Tabelle 2 dargestellt.

Enthält das Seewasser natürlicherweise wenig Feinstoffe, so ist eine zusätzliche Trübung unerwünscht. Bei einem solchen Vergleich ist auch auf das zeitliche und räumliche Muster (Saisonalität, Hochwasser, Einschichtung, etc.) der natürlichen Entwicklung der Trübung zu achten. Alpenrandseen weisen im Frühsommer (Schneesmelze) und bei Hochwasser die höchste Trübung auf (EAWAG, 1996). Im Seewasser findet man das Trübemaximum während der überwiegenden Zeit in der Dichte-Sprungschicht.

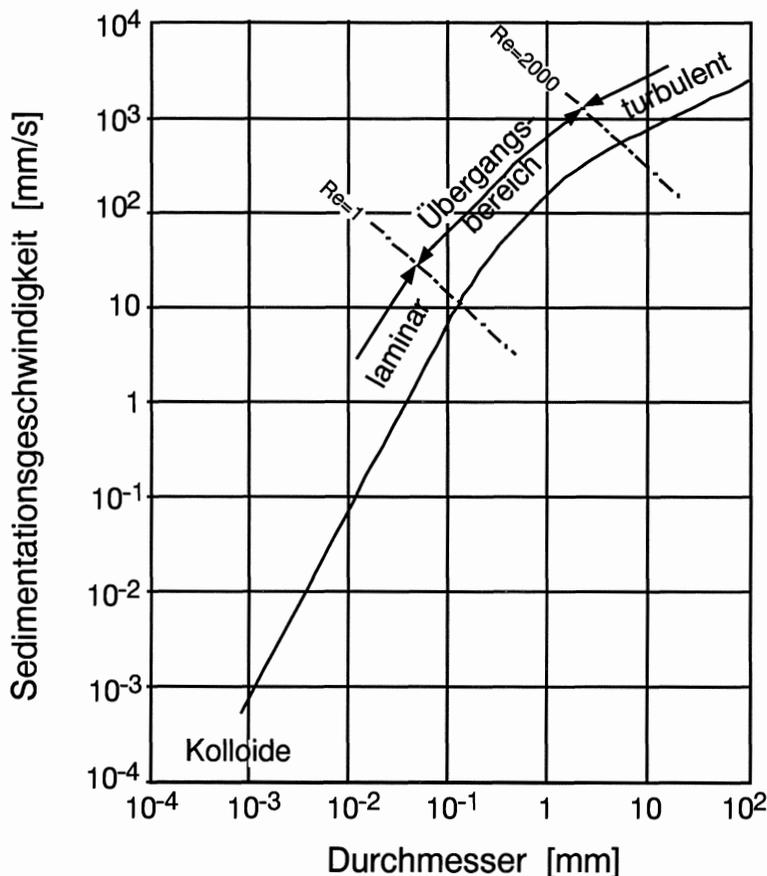


Abbildung 2: Sedimentationsgeschwindigkeit anorganischer Teilchen (Dichteunterschied Teilchen – Wasser: 1700 kg/m^3) als Funktion des Teilchendurchmessers. Im offenen See ist für Teilchen kleiner als 1 mm nur der laminare Teil der Kurve von Bedeutung (Re : Teilchen-Reynoldszahl).

Generell ist an der **Oberfläche** von Gewässern nur mit geringer Trübung zu rechnen, da feststoffbeladenes Wasser absinkt. Dies zeigte sich beispielsweise bei der Felssprengung am Ölberg/Axenstrasse (VAW, 1992). Die wegen Rutschgefahr gesprengten Felspartien (Abbildung 3, links) stürzten direkt in den Urnersee. Zwei Stunden nach der Sprengung durchgeführte Messungen belegen, dass das Oberflächenwasser damals klar blieb (Abbildung 3, rechts). Oberflächliche Trübung kann jedoch im Winter auftreten, wenn feinstoffbeladenes Tiefenwasser an die Oberfläche gemischt wird. Bei Schüttungen in Flachwasserbereichen ist aufgrund der von Wellen erzeugten Aufwirbelung von Feinstoffen ebenfalls mit vorübergehend lokaler Trübung zu rechnen.

Tabelle 2: Berechnete Sinkgeschwindigkeiten, Absetzzeiten und Reichweiten für ein 50 m tiefes Gewässer. Annahmen sind: Dichte = 2700 kg/m^3 (anorganisches Material) und horizontale Strömungsgeschwindigkeit = 5 cm/s .

Durchmesser des Teilchens [μm]	Sinkgeschwindigkeit	Absetzzeit bei 50 m Wassertiefe	horizontale Reichweite [km] bei 50 m Wassertiefe
0.1	0.6 mm / Tag	225 Jahre	350'000
1	6 cm / Tag	2.3 Jahre	3'500
10	6 m / Tag	8 Tage	35
100	610 m / Tag	2 Minuten	0.35

Problematischer ist die Trübung in der **Tiefe** zu beurteilen. Bei der Schüttung wird wärmeres und somit leichteres Oberflächenwasser von den Feststoffen beschwert und in die Tiefe transportiert. Dieses leichtere Wasser steigt über dem Seegrund wieder auf, nachdem die grösseren Feststoffe zum Seeboden sedimentiert sind. Eine solche Warmwasserfahne führt Feinstoffe mit und bildet eine Trübewolke. Ihre vertikale Ausdehnung hängt von der Stabilität der Wassersäule und der Vermischung mit dem Seewasser ab. Gemäss Tabelle 2 kann ein Teilchen von $10 \mu\text{m}$ Durchmesser, welches von einer horizontalen Tiefenwasserströmung von 5 cm/s erfasst wird (typische obere Grenze in Schweizer Seen) eine Verfrachtung von bis zu ca. 35 km erfahren.

Ein weiterer unerwünschter Effekt ist die **Resuspension** und **Remobilisierung** von natürlich abgelagerten Sedimenten. Das am Boden aufschlagende Schüttmaterial wirbelt vor allem dann Sediment auf, wenn die Schüttung schlagartig erfolgt, wie dies bei einer Verklappung (Kap. 2.4) der Fall ist. Im Extremfall ist die sekundäre Trübung durch die Resuspension von Seesediment grösser als die primäre Trübung durch das Schüttmaterial. Dies war beispielsweise bei der erwähnten Felssprengung der Fall (Abbildung 3). In einer 5 bis 10 m mächtige Schicht direkt über dem Sediment erzeugten die resuspendierten Teilchen Feststoffkonzentrationen von bis zu 50 g/m^3 . Die Trübewolke breitete sich in dieser Tiefe über den gesamten Urnersee aus.

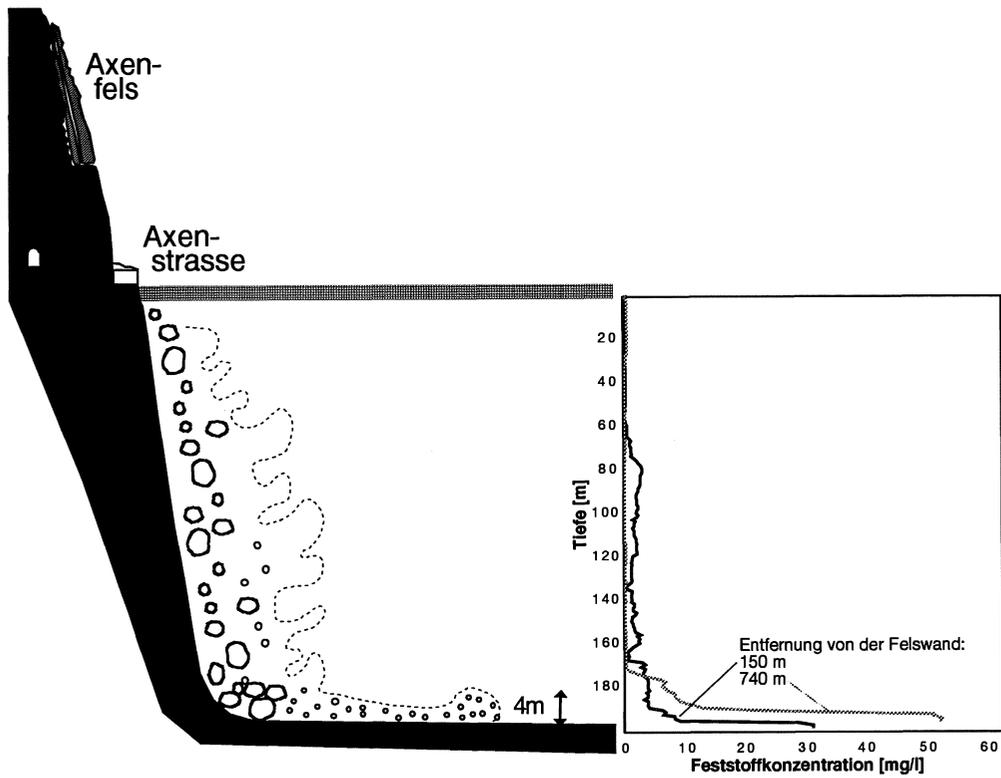


Abbildung 3: Felssprengung am 10. April 1992 am Ölberg (Axenstrasse). Links: schematische Darstellung. Rechts: Feststoffkonzentration wenige Stunden nach der Sprengung. Das Oberflächenwasser zeigte keine erhöhte Trübung. Die Trübewolke breitete sich aber unterhalb von ca. 180 m Tiefe vollständig aus (EAWAG, unpub.).

2.3 Biologische Wirkung von Seeschüttungen

Grundsätzlich führt jeder Eingriff zu einer Veränderung des Ökosystems See. Da immer von Wechselwirkungen zwischen den Gliedern eines Nahrungsnetzes auszugehen ist, resultiert eine hohe Komplexität. Veränderungen bei Organismen, die an der Basis der Nahrungskette stehen, wirken mittelbar auch auf Organismen höherer Ebene. Die Nahrungskette wird aber auch von Organismen höherer Ebene beeinflusst, so z.B. von planktonfressenden Fischen.

Eine Seeschüttung hat auf die Organismen und biologischen Vorgänge in Seen vielfältige, im einzelnen nur schwer vorhersagbare direkte und indirekte Auswirkungen. Die direkte Zerstörung von Lebensräumen ist am augenfälligsten; daneben finden aber auch subtile Veränderungen des Lebensraumes und der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Organismen statt. Deshalb ist in der Praxis eine genaue Abschätzung der Auswirkungen eines Eingriffs nicht möglich, und eine Bewertung ist nur in Form von Szenarien realistisch. Es ist aber möglich, die potenziell kritischen Faktoren anzugeben.

2.3.1 *Phytoplankton*

In der Freiwasserzone von Seen fixieren freischwebende, vorwiegend einzellige Algen (Phytoplankton) Sonnenenergie. Sie bilden die Basis des Nahrungsnetzes. Deshalb beeinflusst jede Form von Trübung via Reduktion der Einstrahlung die Lebensgemeinschaft in Seen (ELBER & SCHANZ, 1990). Bei lang andauernder und grossflächiger Trübung der durchlichteten Oberflächzone würde die biologische Produktivität abnehmen. Für sehr produktive (eutrophe) Seen erscheint eine Verminderung des Algenwachstums zunächst vorteilhaft. Da aber lang anhaltende Trübung in keiner Weise den natürlichen Bedingungen entspricht, sind Trübungen in der durchlichteten Zone jedoch zu vermeiden. In oligotrophen Seen, die wegen der geringen Nährstoffkonzentration bereits produktionsarm sind, hätte eine erhöhte Trübung eine weitere Abnahme des Algenwachstums zur Folge, mit entsprechenden negativen Auswirkungen auf die übrigen Glieder des Nahrungsnetzes.

2.3.2 *Zooplankton*

Die Masse des Zooplanktons (freischwebende wirbellose Tiere) ernährt sich überwiegend von Phytoplankton. Deshalb ist das Zooplankton von allen Beeinträchtigungen der Algen mitbetroffen. Darüber hinaus sind Zooplankter auch direkten Auswirkungen von Seeschüttungen ausgesetzt. Beispielsweise erfordert eine erhöhte Wassertrübung die Fähigkeit, fressbare von mineralischen Teilchen zu unterscheiden. Bei unselektiv fressenden Arten, wie beispielsweise Wasserflöhe (Daphnien), kann dies zu einer negativen Energiebilanz führen. Solange die Trübung jedoch ein begrenztes Seegebiet umfasst, sind entsprechend auch die Auswirkungen auf die Tiere von lokaler Natur. Der Einfluss auf die Gesamtpopulation und die planktische Lebensgemeinschaft ist dann als gering einzuschätzen.

2.3.3 Makrophyten

In Flachwasserbereichen von Seen bilden höhere Wasserpflanzen und Makroalgen (kollektiv als Makrophyten bezeichnet) die wichtigste Grundlage des Nahrungsnetzes. Die Bedeutung der Makrophyten für andere Gewässerorganismen beruht einerseits auf dieser Nahrungsfunktion, unabhängig davon, ob das Pflanzengewebe tot oder lebendig konsumiert wird. Eine zweite wesentliche Funktion ergibt sich aus der räumlichen Struktur des Lebensraums durch Makrophytenbestände, die einem breiten Spektrum an Aufwuchsorganismen, wirbellosen Tieren und Fischen Lebens- und Reproduktionsmöglichkeiten bieten (JEPPESEN *et al.*, 1998). Auch für eine Reihe von Wasservögeln (z.B. Tauchenten, Rallen) sind Makrophytenbestände attraktiv oder sogar Voraussetzung für ihr Vorkommen und ihre Fortpflanzung.

Am Ort der Schüttung steht die direkte Zerstörung der Bestände im Vordergrund, welche praktisch immer die Vernichtung einer reich strukturierten, vielfältigen Lebensgemeinschaft (Organismen aller Grössenklassen, von den mikroskopisch kleinen Bakterien, Pilzen und einzelligen Aufwuchsalgen bis zu den Wirbeltieren) umfasst. Weiter sind auch die Makrophyten ausserhalb des Schüttungsgebietes durch die Trübung gefährdet. Untergetauchte Makrophyten werden darüber hinaus - wie das Phytoplankton - unmittelbar von der Trübung beeinträchtigt. Einerseits schwächen Feinstoffe das Licht ab und reduzieren somit die Photosynthese, andererseits werden die Makrophyten mit einer dünnen Sedimentschicht belegt. Die reduzierte Turbulenz innerhalb der Makrophytenbestände begünstigt zudem die Sedimentation von Feinstoffen. Im Extremfall können die Makrophyten absterben.

Makrophyten sind aufgrund ihrer Lichtabhängigkeit und anderer Faktoren (z.B. Druck) auf die Flachwasserzonen von Seen beschränkt. In der Schweiz sind Flachwasserzonen von Seen fast ausschliesslich im Uferbereich zu finden. Diese Bereiche der Seen sind jedoch durch Eingriffe im Verlauf der letzten Jahrhunderte am stärksten beeinträchtigt worden. An sehr vielen Seen wurden die flachen Uferbereiche grossflächig durch Aufschüttungen (u.a. zur Landgewinnung), Bauwerke, Baggerung, etc. vernichtet. Für Makrophyten und die mit ihnen verknüpfte Fauna könnte deshalb die Schaffung von Flachwasserzonen durch gezielte unterseeische Aufschüttungen eine Ausgleichsmassnahme für verlorene Lebensräume darstellen. Zur Schaffung von möglichst optimalen Aufwuchsbedingungen an den neu geschaffenen Standorten muss die Oberfläche mit einer Schicht Feinmaterial abgedeckt werden (AQUAPLUS, 1998). Höhere Wasserpflanzen und auch Characeen (Armleuchteralgen) benötigen eine aus Feinmaterial bestehende Schicht zur Verankerung von Haftorganen (Wurzeln bei Wasserpflanzen mit Nährstoffaufnahmen; Rhizoide bei Characeen). Characeen besiedeln bevorzugt mineralischen Boden feiner Korngrösse mit hohem Anteil organischer Substanz (KRAUSE, 1997). Für Wasserpflanzen bestehen die besten Untergrundbedingungen aus Feinsediment mit einem Anteil an organischem Material von 20 % Trockengewicht (SMART & BARKO, 1985). Auch die Form des Unterwasserreliefs - Löcher sind eher ungünstig für Makrophyten (Niederberger, pers. Mitt.) - kann bei der Wiederbesiedlung wichtig werden.

2.3.4 *Makroinvertebraten*

Da sich die Lebensgemeinschaften der Makroinvertebraten (sichtbare wirbellose Tiere) am tiefen Seeboden und im flachen Uferbereich stark unterscheiden, müssen diese beiden Zonen getrennt betrachtet werden. Für beide gilt, dass im unmittelbaren Schüttgebiet die Bodenbewohner zugrunde gehen. Auch im weiteren Umkreis des Gebietes können am Boden lebende Tiere durch die Verfrachtung der Feinstoffe beeinträchtigt werden.

Die nichträuberischen Makroinvertebraten am **tiefen Seeboden** ernähren sich von sedimentiertem organischem Material (Plankton und eingeschwemmtes organisches Material). Da dieses organische Material ständig nachgeliefert werden kann, besteht keine grosse Gefahr, dass die Nahrungsgrundlage dieser Tiere dauerhaft durch Schüttungen verloren geht. Wichtig für die Lebensgemeinschaften der Tiefenwassersedimente ist neben der Nahrungsversorgung die Beschaffenheit des Seebodens (z.B. Korngrössen und Gehalt an organischer Substanz) und die Sauerstoffbedingungen. Es muss deshalb dafür Sorge getragen werden, dass die bestehende Situation durch Schüttungen nicht wesentlich verändert wird. In Tiefen ab ca. 20 m ist die Artenvielfalt gering. Unter den Bodentieren spielen vor allem Würmer (Oligochaeten) und Zuckmückenlarven (Chironomiden) eine Rolle. Die hier anzutreffenden Vertreter dieser Formengruppen werden unter naturschützerischen Aspekten allgemein wenig beachtet. Diese Tatsache sollte allerdings nicht dazu verleiten, ihnen a priori keinen Wert beizumessen. Falls der Lebensraum durch die Schüttung nicht wesentlich verändert wird (Beschaffenheit und Chemismus des eingebrachten Materials) und falls für das betroffene Gebiet hinreichend grosse angrenzende, ungestörte Flächen zur Verfügung stehen, ist mit rascher Wiederbesiedlung durch wirbellose Bodentiere zu rechnen (STÖSSEL, 1992). Bei geringer Sedimentation von organischem Material und grossflächigen Beeinträchtigungen kann die Wiederbesiedlung länger dauern.

In den **flachen Uferbereichen** leben Makroinvertebraten im Verband mit den strukturbildenden Wasserpflanzen. Die Produktion und Artenvielfalt ist hoch, die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften komplex. Viele der hier vorkommenden Arten sind selten oder gefährdet. Aus diesem Grund sowie wegen der generellen Komplexität der ökologischen Zusammenhänge in der Uferzone und der historisch grossflächigen Uferzerstörungen wiegen Eingriffe in die Flachwasserbereiche schwer.

2.3.5 *Fische*

Wegen ihrer grossen Beweglichkeit sowie ihrer differenzierten Ansprüche an verschiedenartige Lebensräume in einem See (in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium, der Tages- und Jahreszeit und der betrachteten Lebensfunktion wie Fressen oder Laichen) werden Fische durch Seeschüttungen in mancher Hinsicht anders beeinflusst als dies für die oben besprochenen Organismen zutrifft.

Die Auswirkungen von Seeschüttungen machen sich für die Fischfauna vielmehr indirekt durch die Zerstörung, Schaffung oder Veränderung ihrer Lebensräume bemerkbar (MARRER, 1987-1990; EAWAG, 1976). Verschiedene Fischarten zeigen selbstverständlich unterschiedliche Ansprüche, werden also in unterschiedlichem Mass

betroffen. Schüttungen strukturieren den Seeboden neu. Einerseits können für bestimmte Fischarten notwendige Strukturen und Lebensräume verlorengehen, andererseits kann eine gut konzipierte Schüttung neuen Lebensraum schaffen. Dies trifft insbesondere für die Bildung erweiterter Flachwasserzonen zu, wenn sie die zukünftige Entwicklung von Makrophyten erlauben. Durch Geländeunebenheiten als Folge der Schüttung bilden sich z.T. spezifische Lebensräume für bestimmte Fischarten aus (z.B. für die Trüsche, *Lota lota*). Ist das Schüttmaterial grobkörnig, entstehen möglicherweise neue Laichplätze für kieslaichende Fischarten wie Felchen (*Coregonus* sp.) und Saibling (*Salvelinus alpinus*). Die Schaffung solcher Kiesbänke ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn sie auf Dauer erhalten bleiben, also nicht durch natürliche Sedimentation mit Feinmaterial überdeckt werden. Gegeben ist diese Voraussetzung nur im Bereich der Mündung von Zuflüssen mit Geschiebetrieb, an Stellen mit ausreichender Strömung, die sedimentiertes Feinmaterial wegtransportiert, und in Seen mit nur geringer Algenproduktion (MÜLLER, 1992). Eine Schüttung am falschen Ort zerstört dagegen wichtige, möglicherweise für die Population einer Fischart limitierende Lebensräume. Da Flachwassergebiete die produktivsten Zonen des Sees sind und das wichtigste Laichgebiet für Uferlaicher wie Hecht (*Esox lucius*), Barsch (*Perca fluviatilis*) und einige andere Arten darstellen, sollten solche Schüttungen besonders kritisch beurteilt werden. Auch Schüttungen auf kiesigem Substrat sind unerwünscht, da solche Flächen von lithophilen Fischarten oft als Laichplätze genutzt werden. Die Gefahr der Zerstörung ist im Vergleich zu einer eventuell zu erzielenden Verbesserung gross.

Feinstoffe im Wasser wirken direkt (Embryonalentwicklung, Schwimmverhalten, Verletzungen, Wachstum, Resistenz gegen Krankheiten) sowie indirekt (Migration, Futterabundanz) auf die Fischbestände (ALABASTER & LLOYD, 1982). Für Verletzungen der Kiemen, wie dies in Fließgewässern auftritt, wäre eine enorme Trübung notwendig (ALABASTER & LLOYD, 1982). Bei relativ hohen Feinstoffkonzentrationen spielt vor allem die Dauer der Einwirkung eine Rolle (BÜSSER, 1992). NEWCOMBE & MACDONALD (1991) haben einen Stressindex entwickelt, der Konzentration und Einwirkdauer suspendierter Feinstoffe berücksichtigt und deren Auswirkungen auf Edelfische und Wirbellose zusammenfasst.

Sich absetzendes Feinmaterial kann Fischeier und Laichplätze zerstören. Damit ist zu rechnen, wenn die künstlichen Sedimentationsraten die natürlichen wesentlich übertreffen. In Seen mit hoher Algenproduktion findet eine hohe Sedimentation organischen Materials statt, so dass Fischlaich und Laichplätze zerstört werden (WEHRLI & WÜEST, 1996).

2.3.6 Wasservögel und Limikolen

Makrophytenbestände sind für eine Reihe von Wasser- und Watvögeln (z. B. Tauchenten, Rallen) attraktiv und Voraussetzung für ihr Vorkommen. Flachwasser- und Uferzonen sind ornithologisch besonders wertvoll.

2.4 Schütt- und Schutztechniken

Die Entstehung von Trübung und sich daraus ergebenden ökologischen Probleme sind eng mit der angewendeten Schütttechnik verbunden. Die im folgenden aufgeführten Schütt- und Schutztechniken werden dem Anspruch auf Verminderung der Trübung in unterschiedlichem Mass gerecht:

- **Einfache Verklappung:** Bei der einfachen Verklappung wird das Schüttmaterial vom Schiff aus stossweise und in grossen Mengen in den See abgegeben. Die Auswaschung von Feinmaterial ist beträchtlich und über die gesamte Wassersäule ist mit primärer Trübung zu rechnen. Zudem entsteht im Bereich des Aufpralls eine sekundäre Trübewolke durch resuspendiertes Seesediment. Diese Methode kann grosse Schüttmengen innert kurzer Zeit umsetzen, ist aber aus ökologischer Sicht als problematisch zu beurteilen.
- **Einspülung von Feinmaterial:** Diese an Meeresküsten verbreitete Methode, Feinmaterial mittels Zuflusswasser ins Meer zu befördern, ist nur für spülfähiges und somit relativ feines Material geeignet. Da die Methode bezüglich Trübung und gezielter Ablagerung ungünstig ist, dürfte sie für Seeschüttungen nur in sehr speziellen Fällen in Frage kommen.
- **Vor-Kopf-Schüttung** (Schüttung vom Ufer aus): Bei dieser kostengünstigen Methode wird das Material vom Ufer aus direkt und zielgerichtet in den See geschüttet. Bei Schüttung aus Lastwagen ist die Trübung vernachlässigbar. Bei Schüttung ins offene Wasser (via Transportbänder) wird Feinmaterial dispergiert. Die sekundäre Trübung entsteht jedoch eher aufgrund des Wellenschlages (abhängig von der Windintensität und -richtung) und weniger aufgrund des Aufpralls im untiefen Wasser. Der potentiellen Gefahr der Destabilisierung des Seebodens ist besondere Beachtung zu schenken. Uferschüttungen, wie etwa die Vogelschutzinseln in Flüelen oder die Mündungszone bei Sisikon, wurden mit dieser Methode vorgenommen (KATZ, 1997).
- **Umgekehrte Baggerung:** Bei dieser Methode wird das in den See zu bringende Material mit einem Bagger an die vorgesehene Stelle gebracht. Umgekehrte Baggerung ist aufwendig und zeitintensiv. Es wird kaum Sediment resuspendiert. Ob Feinstoffe ausgewaschen werden, hängt von der Konstruktion der Schaufel ab.
- **Schüttung durch kurzes Tauchrohr:** Bei Schüttungen ins Tiefenwasser kann das Material in einem Rohr bis unter die Dichte-Sprungschicht gebracht werden. Von dort sedimentiert es frei. Trübung im Oberflächenwasser kann somit weitgehend verhindert werden. Für das Tiefenwasser bedeutet diese Technik keine wesentliche Verbesserung gegenüber der einfachen Verklappung.
- **Schüttung durch langes teleskopisches Tauchrohr:** Bei einer Schüttung durch ein langes Tauchrohr, welches bis zum Seegrund reicht, wird Trübung weitgehend vermieden. Abbildung 4 zeigt diese Technik schematisch, wie sie im Neuenburgersee (N5) erfolgreich angewendet wurde (AQUARIUS, 1994). Es ist darauf zu achten, dass das Tauchrohr einen genügend grossen Durchmesser

aufweist, damit die Druckunterschiede (Druck-Sog) nicht zu gross werden und zu Beschädigung des Tauchrohres führen. Damit ergibt sich eine schwere, nicht leicht manövrierbare Konstruktion. Ist das Tauchrohr dicht und die Rohröffnung oberhalb des Wasserspiegels, so kann mit folgenden Vorteilen gerechnet werden:

- Ausserhalb des Rohrs entsteht keine Konvektion. Feinstoffe werden nicht in der Wassersäule aufsteigen. Die Trübewolken sind auf den Bodenbereich der Schüttung konzentriert.
- Es können während des Betriebs keine Feinstoffe in die Wassersäule austreten.
- Hohe Feststoffkonzentration und Turbulenz beschleunigen die gegenseitige Anlagerung der Feststoffteilchen (Koagulation). Grössere Aggregate sinken besser.
- Dichteströmungen innerhalb des Rohrs beschleunigen das Absinken der Feinstoffe und halten die Trübewolken im Bodenbereich.

In Deutschland wird ein ähnliches System gebraucht, um schadstoffbelastetes Baggergut mit Sand abzudecken. Am unteren Ende eines Fallrohrs ist ein Diffusor angebracht, der über das zu versiegelnde Deponat geführt wird (BfG, 1994).

Daneben gibt es auch Schutz- und Sicherungstechniken, die es erlauben, die Trübung in Schranken zu halten:

- **Unterwasserdamm:** Um ein Verdriften der Feinstoffe aus dem Schüttgebiet zu verhindern, wird zu Beginn ein Damm erstellt. Anschliessend kann das uferwärtige Gebiet geschüttet werden, ohne den restlichen See zu trüben (Abbildung 5). Zum Schluss muss der Teil des Dammes, welcher das gewünschte Niveau übersteigt, abgetragen werden. Da bei der Schüttung des Dammes Feinmaterial freigesetzt wird, bringt ein Damm vor allem dann Vorteile, wenn er einen nicht zu grossen Anteil des Schüttvolumens darstellt. Weiter muss beachtet werden, dass nur speziell geeignetes Schüttmaterial den Stabilitätsanforderungen für einen Damm entspricht (SNV, 1993).
- **Vorhang aus Luftblasen:** Bei diesem Verfahren wird durch perforierte Schläuche am Seegrund Luft ausgespresst. Die aufsteigenden Luftblasen bilden einen Vorhang aus Luftblasen, der ein Verdriften von Feinstoffen verhindern soll. Falls der Dichteunterschied zwischen dem feststoffbeladenen Wasser auf der Schüttseite des Vorhangs und dem seeseitigen Wasser zu gross wird, kann ein doppelter Vorhang notwendig werden. Unebenheiten des Seegrundes erfordern jedoch eine aufwendige Installation. Eine notwendigerweise grosszügige Dimensionierung (Sicherheitsabstand) und die Energie für die Kompression der Luft verteuern diese Methode zusätzlich (AQUARIUS, 1994).
- **Vorhang aus synthetischen Textilien:** Anstelle von Luftblasen kann auch synthetisches Textil als Vorhang verwendet werden (ETHZ, 1975). Dieser Vorhang wird an Schwimmkörpern befestigt. Druckunterschiede durch Schüttung, Strömung, Wellen, Schiffsmanöver, unregelmässige Topographie, etc. machen eine Handhabung kompliziert und verlangen hohe Reissfestigkeit. Ein hoher Durchsatz verlangt eine grossräumige Dimensionierung des Vorhangs, da bei zu

geringem Durchmesser selbst sehr robuste Textilien zerstört werden (AQUARIUS, 1994). Bei geringen Wassertiefen, geringen Schüttmengen und bei grosszügiger Dimensionierung kann diese Methode aber durchaus erfolgreich sein (PROJEKTA, pers. Mitt.).

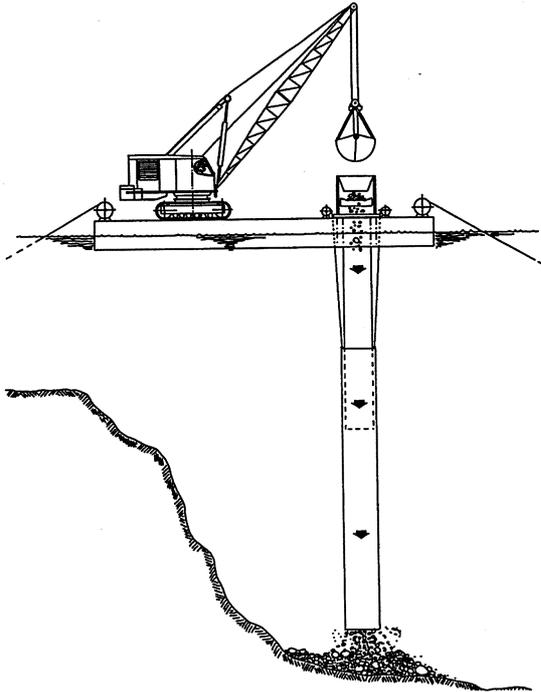


Abbildung 4: Langes, teleskopisches Tauchrohr, wie es im Neuenburgersee bei der Schüttung von Ausbruchmaterial der N5 zur Anwendung kam. Das Teleskop wird entlang des Seegrunds geführt (nach AQUARIUS, 1994).

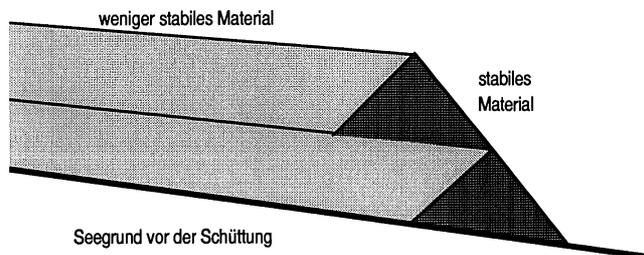


Abbildung 5: Ausbruchmaterial, welches einen steileren Neigungswinkel erlaubt (grössere Körnigkeit; bessere Verzahnung, innerer Reibungswinkel; SNV, 1993) wird zur Erstellung von Unterwasserdämmen verwendet. Das eingeschlossene Volumen wird mit weniger stabilem Material verfüllt.

2.5 Bisherige Erfahrungen

2.5.1 Urnersee (Seelisbergtunnel, N2)

Beim Ausbruch des Seelisbergtunnels (1970-80) wurde unter Verwendung eines **kurzen und ortsfesten Tauchrohrs** bei Bauen 1.5 Mio. m³ Ausbruchmaterial in den Urnersee geschüttet (NZZ, 1974). Über Transportbänder wurde das Material in ein Gummirohr gefördert, welches 4 m ins Seewasser eintauchte (W. Katz, pers. Mitt.). Damit konnte oberflächliche Trübung wirkungsvoll verhindert werden.

2.5.2 Neuenburgersee Nordufer (N5)

Beim Bau der N5 entstehen insgesamt ca. 5 Mio. m³ Aushubmaterial auf dem Gebiet des Kantons Neuenburg. Rund die Hälfte soll beim Bau wiederverwendet werden. Das restliche Material wird teilweise gebraucht, um alte Baggerlöcher im Neuenburgersee zu füllen. Diese trichterförmigen Löcher stellen ungünstige Bedingungen für die Fische dar (strömungsarme und sauerstoffarme Bereiche) und werden im Sinne einer Revitalisierung zu einer Flachwasserzone geschüttet.

Versuche mit Mergel-Kalk-Gestein zeigten, dass eine Verklappung des Materials zu Dispersion von Feinstoffen führt. Es wurden erhöhte Trübungswerte bis zu einer Distanz von 4 km gemessen. Deshalb wurde ein **teleskopisches Tauchrohr** eingesetzt (Abbildung 4). Dies erlaubt es, Material bis ca. einen Meter oberhalb des Seegrundes zu bringen und somit die Dispersion von feinem Material beinahe vollständig zu verhindern.

Um einen möglichst grossen Flachwasserbereich mit maximalen Tiefen von weniger als 10 m zu erreichen, sind am Rand der Schüttung steile Neigungswinkel nötig. Diese können nicht mit allem Material erreicht werden. Deshalb wird das stabilere Material (SNV, 1993) am Rand zu Dämmen aufgebaut (Abbildung 5). Zwischen dem Ufer und diesen Dämmen kann weniger stabiles Material geschüttet werden. Um diese Technik anzuwenden, musste die Ausgangstopographie vermessen werden. Während der Bauphase werden täglich sämtliche relevanten Parameter gemessen (Position, Wassertiefe, Trübung usw.), regelmässig die Veränderung der Unterwassertopographie erhoben sowie das zu schüttende Material bezüglich chemischer Parameter und Korngrößenverteilung analysiert. Zusätzlich zu den üblichen Untersuchungsgeräten werden Taucher, Robotersonden, Sonar und Positionierungssystem (GPS) eingesetzt.

2.5.3 Neuenburgersee Südufer (Fanel)

Hier wurden die sogenannten Berner- und Neuenburgerinseln als Lebensraum für Wasservögel und als Rastplatz für Limikolen geschüttet. Diese Inseln sind heute Teil eines Wasservogelgebiets von internationaler Bedeutung. Die Schüttung erfolgte teilweise als ökologische Ausgleichsmassnahme für die zweite Juragewässerkorrektion (SCHWEIZER VOGELWARTE, 1987). Die Schütttechnik ist **nicht bekannt**.

2.5.4 Vierwaldstättersee (Uferschüttung Alpenquai, Luzern)

Im Gegensatz zu Seeschüttungen auf offenem Wasser werden **Vor-Kopf-Schüttungen** vom Ufer aus relativ oft durchgeführt. So wurde der gesamte Ausbruch des Sonnenbergtunnels (N2) 1979 beim Alpenquai in Luzern zur Erstellung eines Parks mit Bademöglichkeiten und Naturräumen geschüttet.

2.5.5 Reussdelta Urnersee (N4-Umfahrung Flüelen, NEAT)

Nach der 1851 durchgeführten Reusskorrektur lagerte die Reuss das Geschiebe konzentriert beim Kanalende (ca. 300 m vom Ufer) ab. Der seit 1905 betriebene Abbau von Sand und Kies führte, zusammen mit den Auswirkungen der Korrektur, zur Zerstörung der Flachwasserzonen und zu Ufererosion. Statt Flachwasserzonen prägen heute entlang längerer Uferabschnitte Baggerlöcher das Unterwasserrelief. Um den über jahrzehntelangen Konflikt zwischen Kiesabbau und Uferzerstörung zu lösen, wurde ein Landschaftsentwicklungsplan ausgearbeitet (LANG, 1983). Da sich die naturnahe Deltaentwicklung auch längerfristig auf das unmittelbare Mündungsgebiet der Reuss beschränken wird, wurde Ende der 80er Jahre zusätzlich eine Vogelinsel geschüttet und diverse Uferzonen revitalisiert (ELBER *et al.*, 1997).

In einem zweiten Schritt wurde ein Projekt entwickelt, um die Deltaentwicklung zu fördern und Inselgruppen zu schaffen (ILU, 1991; LANG, 1995; ILU, 1996). Das notwendige Schüttmaterial könnte vom Ausbruch des Umfahrungstunnels N4 (Flüelen) und später von der NEAT (Neue Eisenbahn Alpentransversale) verwendet werden. Das Materialbewirtschaftungskonzept von AlpTransit rechnet mit einem Überschuss an für Seeschüttungen geeignetem Material von ca. 2 Mio. m³. Dies reicht für die 0.5 Mio. m³ Schüttmaterial aus, welches vom Seesanieerungsprojekt mindestens benötigt werden. Mit dem Vorhaben der Schüttungen im Reussdelta werden folgende Ziele angestrebt:

- Uferschutz;
- Verbesserung und Vergrößerung der Flachwasserzonen, insbesondere im Hinblick auf Makrophyten und deren Bedeutung als Laichgründe für die litoralen Fischarten (AQUAPLUS, 1991, 1996);
- Vergrößerung des Angebotes an Rastplätzen für Limikolen und Lebensraum für Wasservögel;
- Unterstützung der naturnahen Delta- und Landschaftsentwicklung.

3. Fragenkatalog zur Planung von Seeschüttungen

Das folgende Kapitel stellt einen Fragenkatalog mit den wichtigsten zu berücksichtigenden Elementen einer Seeschüttung vor. Wie schon in der Einleitung (Kap. 1) erwähnt, kann dieser Fragenkatalog nicht vollständig sein, da jeder See seine Besonderheiten aufweist und als Einzelfall behandelt werden muss.

3.1 Rechtliche Basis

Die Artikel 6 und 39 des **Gewässerschutzgesetzes** enthalten klare Bedingungen für eine Seeschüttung:

- keine Schüttung von verschmutztem Material;
- Schüttung im Rahmen von Revitalisierungsprojekten möglich;
- Schüttung bei standortgebundenen Bauten mit öffentlichem Interesse möglich.

Zusätzlich sind Schüttungen im See an Auflagen nach dem **Fischereigesetz** (BGF Art. 8 und 9), dem **Natur- und Heimatschutzgesetz** (NHG Art. 18, Abs. 1bis und Art. 21, Abs. 1) und der **UVP-Verordnung** gebunden.

3.2 Potenzielle Nutzungskonflikte

Mit einer Seeschüttung werden möglicherweise andere Nutzungen eingeschränkt oder andere Interessen nachteilig beeinflusst. Die folgenden potentiellen Nutzungskonflikte sollten überprüft und abgewogen werden:

- Wird die Trinkwassergewinnung aus dem See beeinträchtigt?
- Wird die Kiesgewinnung beeinträchtigt?
- Ergeben sich Einschränkungen, Behinderungen oder Belästigungen für die öffentliche oder private Schifffahrt?
- Gibt es fischereiliche Einschränkungen oder Beeinträchtigungen der Berufs- oder Angelfischerei durch allfällige technische Installationen im See?
- Wird der See als Naherholungsgebiet beeinträchtigt oder der Tourismus behindert?
- Wird dem Landschaftsschutz Rechnung getragen?

Was die Ausübung der **Fischerei** betrifft, muss man zwischen direkten (Anwesenheit von Anlagen auf oder im See) und indirekte Auswirkungen (Trübung) unterscheiden. Für die Auswirkungen von inerten Feinstoffen auf die Nutzung von Fischen geben ALABASTER & LLYOD (1982) fischereiwirtschaftliche Grenzwerte im Bereich von 25 mg/l (Grenze für schädliche Einflüsse) und 25-80 mg/l (Bereich noch möglicher Nutzung) an. Die Grenze für die Beeinträchtigung eines naturnahen Zustandes liegt wesentlich tiefer.

Grundsätzlich sollte auf eine Seeschüttung verzichtet werden, wenn:

- es sich um einen Kleinsee oder Weiher handelt;
- der See spezielle Lebensgemeinschaften aufweist (z.B. wertvolle standortgebundene Lebensgemeinschaften, gefährdete Tier- und Pflanzenarten);
- archäologische Objekte vernichtet würden;
- Seesedimente von hohem wissenschaftlichem Wert vorliegen.

3.3 Fragen zum potenziellen Schüttgebiet

Um den Einfluss der Schüttung auf den See abschätzen zu können, muss der Ist-Zustand des Sees im Bereich der Schüttung so komplett wie möglich dokumentiert werden.

3.3.1 *Abiotische Eigenschaften*

Die folgenden Eigenschaften des Gewässers müssen bekannt sein:

- **Physikalisch-chemische Eigenschaften** (z.B. Sauerstoffgehalt, Alkalinität).
- **Beschaffenheit, Zusammensetzung und Granulometrie des Seesediments:** Die Korngrößenverteilung des Seesediments muss bestimmt werden, damit dieses mit dem Schüttmaterial verglichen werden kann.
- **Natürliche Sedimentation:** Die Schüttung muss mit der natürlichen Sedimentbildung verglichen werden, zu der sowohl seeinterne (Algenproduktion und Kalzitfällung) als auch seeexterne Teilchen (natürlicher Feststoffeintrag) beitragen. Konkret ist die Frage zu beantworten, ob die Schüttung einen verhältnismässig grossen Beitrag liefert oder ob sie, gemessen an den natürlichen Schwankungen, unbedeutend ist. Schüttungen verhalten sich ähnlich wie ein selten auftretendes Ereignis (Felssturz, Jahrhunderthochwasser).
- **Unterwasserrelief und Stabilität:** Die Topographie und die aktuelle Hangstabilität muss bekannt sein, um abzuschätzen, ob das Gefälle vergrössert werden darf. Besonders Ablagerungen im Mündungsbereich von Zuflüssen sind oft im labilen Zustand.
- **Strömung und Wellen:** Für die Verbreitung einer allfälligen Trübewolke müssen die vorherrschenden Strömungen (Lage relativ zu den Windwellen) bekannt sein. Gleiches gilt für den Einfluss der Wellen für die Resuspension von Feinstoffen im Flachwasserbereich.

3.3.2 *Biotische Eigenschaften*

Bei der Erfassung der biologischen Situation im geplanten Schüttgebiet ist zwischen den **verschiedenen Seebereichen** (Flachufer - Tiefe) und den **verschiedenen Organismen** (Phyto-, Zooplankton, Makrophyten, Wirbellose, Fische, Amphibien, Vögel und übrige Wirbeltiere) innerhalb dieser Zonen zu unterscheiden:

- Die **Zusammensetzung**, die **Biomasse** und die **Struktur** der vorhandenen Lebensgemeinschaften sollten im wesentlichen bekannt sein. Das wesentliche Kriterium für die Bewertung ist ihre regionaltypische und lebensraumbeziehungsweise standortgerechte Ausprägung. Das umfasst die Beurteilung der Zustände aus der Sicht der einzelnen Arten und der Lebensgemeinschaft als Ganzes, inkl. ihre Fortpflanzungsmöglichkeiten. Konkret stellen sich zwei Fragen:
 - Existiert am vorgesehenen Ort der Schüttung eine typische, standortgerechte Artengemeinschaft?
 - Existieren spezielle, auf Grund ihrer Seltenheit schützenswerte Arten oder Artengemeinschaften?

Folgende **fischbiologische** Fragen müssen beantwortet werden:

- Handelt es sich beim vorgesehenen Schüttgebiet um Lebensräume, welche für die Fischfauna eine besondere Bedeutung haben (z.B. Laichgebiete, Lebensraum für Jungfische, wichtige Durchzugsgebiete)?
- Gibt es am vorgesehenen Schüttgebiet gefährdete Arten (KIRCHHOFER *et al.*, 1990)?
- Zu welchen Jahreszeiten werden diese Lebensräume von den Fischen genutzt?
- Wie gross ist der Anteil der betroffenen Individuen im Vergleich zum Gesamtbestand?
- Sind aus fischbiologischer Sicht saisonale oder räumliche Einschränkungen notwendig?
- Kann die fischbiologische Situation verbessert werden, indem z.B. die Flachwasserzone erweitert wird oder eine günstige Abdeckung geschüttet wird? Wenn ja, welches sind die dazu erforderlichen Massnahmen und Volumina an Schüttmaterial?
- Soll das anfallende Schüttmaterial allenfalls sortiert werden (Korngrösse und -form), um die Situation aus fischbiologischer Sicht zu verbessern?

Ist eine Schüttung in einer **Flachwasserzone** geplant, sollte geklärt werden, ob im betroffenen Gebiet Wasserpflanzen (Makrophyten) vorkommen. In diesem Falle ist die Sicherstellung der Wiederbesiedelung besonders wichtig. Auf eine Schüttung soll verzichtet werden, wenn sie zu grossräumiger Zerstörung standortgerechter Makrophytenbestände ohne Rekolonisationsmöglichkeit führt.

Nicht nur die Auswirkungen auf den Wasserkörper, sondern auch diejenige auf die **Uferzone** müssen berücksichtigt werden. Dort stellt sich die Frage, ob das Gebiet ornithologisch wertvoll ist und ob Wasservögel durch die Aktivitäten gestört würden. Ebenso ist die Situation der Uferpflanzen zu berücksichtigen. Neben dem direkten Einfluss können auch ein veränderter Wellenschlag und veränderte Strömungsbedingungen die Vegetation beeinflussen.

3.4 Fragen zum Schüttmaterial und seinen Auswirkungen

Die folgenden Eigenschaften des Schüttmaterials müssen bekannt sein:

- **Chemische Zusammensetzung:** Im Falle einer Seeschüttung darf das Material keine Verunreinigung des Seewassers verursachen. Dabei spielen die natürliche Zusammensetzung des Gesteins sowie die beim Ausbruch eingesetzten Betriebschemikalien eine wichtige Rolle. Die im Ausbruch verbleibenden Komponenten müssen quantitativ bekannt sein. Es gilt zu prüfen, ob es möglich und sinnvoll ist, das Material zu waschen. Dabei entsteht allerdings wiederum Wasser mit Verunreinigungen und hohen Feststoffkonzentrationen. Für die Einleitung solcher Wässer sind die Bundesvorschriften über Abwasser-einleitungen einzuhalten.
- **Grösse und Form:** Die Korngrößenverteilung des Schüttmaterials spielt eine wesentliche Rolle bei der Problematik der **Trübung**. Bei der Bestimmung reicht es aber nicht aus, Siebanalysen durchzuführen, weil bei dieser die kleinen Feststoffteilchen (vgl. Abbildung 1) nicht unterschieden werden können. Gerade diese sind aber für den Effekt der Trübung wichtig. Es stellt sich unerlässlicherweise die Frage, ob mit einer wesentlichen Trübstoffwolke zu rechnen ist. Aufschlagendes Material kann durch Resuspension sekundäre Trübung erzeugen. Aufgrund der vorherrschenden Strömungsverhältnisse muss die Ausdehnung und der zeitliche Verlauf einer Trübewolke abgeschätzt werden. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass mit dem Schüttmaterial in die Tiefe gerissenes leichteres Wasser ein Aufsteigen von Trübefahnen zur Folge haben kann.

Wenn die zeitliche und räumliche Ausdehnung der Trübung abgeschätzt worden ist, muss man deren ökologische Relevanz beurteilen:

- Wird durch die reduzierte Lichteinstrahlung die Produktivität (Photosynthese) in nachteiliger Art vermindert?
- Kann eine direkte Beeinträchtigung von Fischen oder Wirbellosen (z.B. Muscheln oder nicht selektiv fressende Wasserflöhe) durch das suspendierte Feinmaterial ausgeschlossen werden?
- Erscheint eine Ablagerung von Feinstoffen auf Wasserpflanzen, auf kiesigem Untergrund oder auf Fischlaichplätzen möglich?
- Hätte eine Ablagerung von Feinstoffen allfällige Folgen auf einzelne im See vorkommende Arten einschliesslich bestimmter Entwicklungsstadien (z.B. für Felcheneier)?
- Besteht die Gefahr der Kolmation (Abdichtung) des Seegrunds?
- Bringt der durch die Kolmation beeinträchtigte Sediment-Wasser-Austausch Nachteile?
- Werden bestehende oder zu schaffende Kiesböden zerstört?

Sind durch eine allfällige Trübung negative Folgen zu erwarten, so muss die Schütt- oder Schutztechnik entsprechend verbessert werden.

- **Geotechnische Eigenschaften:** Die Schüttung hat Einfluss auf die Stabilität des Seebodens. Es muss bekannt sein, welches der maximale Schüttwinkel beim entsprechenden Material sein kann, ohne dass mit Rutschungen gerechnet werden muss. Nach erfolgtem Ausbruch kann das Material nachträglich gebrochen und sortiert und so entsprechend seiner Stabilität und Eigenschaften verschiedenen Bereichen (Zuschlagstoff, Baumaterial, Seeschüttung usw.) zugeführt werden (vgl. Abbildung 5).

3.5 Fragen zur Technik und Überwachung

3.5.1 Schütttechnik

Neben der Qualität des Materials entscheidet vor allem die Methode der Schüttung über die ökologische Verträglichkeit. Für die vorgeschlagene Methode muss folgendes abgeklärt werden:

- Wie wird das Material gelagert?
- Wie wird das Material am Ort der Schüttung angeliefert?
- Wie gelangt es zum Seegrund?
- Wieviel Material soll eingebracht werden und über welche Zeitspanne?
- Welche speziellen Massnahmen werden zur Verhinderung einer Trübewolke getroffen?
- Wie wird die angestrebte Topographie erreicht?
- Sind vorgängige Modellversuche notwendig, um mögliche Auswirkungen erkennen zu können?
- Soll noch eine Kiesschicht auf die Oberfläche eingebracht werden? Wenn ja, wie mächtig?

3.5.2 Überwachung und Erfolgskontrolle

Eine Schüttung ist ein über längere Zeit andauerndes Projekt. Da Eigenschaften des Schüttmaterials und die Situation des Sees variieren, ist eine **Überwachung** - wenn auch nur stichprobenweise - notwendig. Im Vordergrund stehen Qualitätsanforderungen an das Schüttmaterial und Grenzwerte im See. Zu jeder zu überwachenden Grösse muss festgelegt werden, was gemessen werden soll:

- Welche Parameter?
- Mit welchen Methoden?
- An welchen Messstellen?
- Zu welchen Zeitpunkten und in welcher Zeitspanne?

Rasche Auswertung erleichtert es, allfällige Schwierigkeiten zu erkennen und nötige Entscheidungen frühzeitig zu treffen.

Zum Abschluss des Projekts ist eine **Erfolgskontrolle** notwendig, die über das Erreichen des vorgesehenen Zielzustandes (Vegetation, Oberflächenbeschaffenheit, Landschaftsbild) Auskunft gibt.

4. Literaturliste

Alabaster, J. S. und R. Lloyd, 1982. Water quality criteria for freshwater fish. Butterworth, London, 2nd Edition.

AquaPlus, 1991. Inselgruppe im Urner Reussdelta - Bereich Limnologie und Pflanzenökologie. *AquaPlus, Unterägeri*.

AquaPlus, 1996. Regenerierung des Reussdeltas mit Ausbruchmaterial - UV Voruntersuchung. *AquaPlus, Unterägeri*.

AquaPlus, 1998. Regenerierung des Reussdeltas mit Ausbruchmaterial - Bericht über die Umweltverträglichkeit. *AquaPlus, Unterägeri*.

Aquarius, 1994. EIE-N5: Restauration de la zone littorale par le noyage de matériaux. *Aquarius, Neuchâtel*.

BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde), 1994. Unterbringung von belastetem Baggergut im aquatischen Milieu. *Mitteilung Nr. 6, Koblenz*.

Büsser, P., 1992. Trübung Brienersee. Teilbericht Fischereibiologie. *Unveröffentlichter Bericht, z. Hd. Gewässerschutzamt Bern*.

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1995. Die Baggerung von Sedimenten bei Hafenanlagen und Schifffahrtsrinnen. *Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 19*.

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1997. Richtlinie für die Verwertung und Ablagerung von mineralischem Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie), Entwurf Dezember 1997.

EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz), 1973a. (Ed.: J. Zobrist). Gutachten über die Auswirkungen der Ablagerung von Aushubmaterial des Seelisbergtunnels im Vierwaldstättersee. *Bericht Nr. 4415*.

EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz), 1973b. (Ed.: J. Zobrist). Gutachten über die Auswirkungen der Ablagerung von Ausbruchmaterial des Seelisbergtunnels im Vierwaldstättersee. 2. Teil, Auswirkungen der Ablagerung von Ausbruchmaterial der Baulose Büel und Hutteg im Urnersee. *Bericht Nr. 4435*.

EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz), 1976. Gutachten über die Beeinflussung des Trophiegrades und der Fischerei durch den Baggerbetrieb im Seegebiet von Stansstad. *Bericht Nr. 4551*.

- EAWAG** (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz), 1996. (Ed.: M. Sturm, C. Siegenthaler, H. Suter, A. Wüest). Das Verhalten von Schwebstoffen im Brienersee - Untersuchungsergebnisse der Jahre 1994-95. *Bericht Nr. 84109*.
- Elber F. & F. Schanz**, 1990. The influence of a flood event on the phytoplankton succession. *Aquatic Sciences* 52: 330-344.
- Elber F., K. Niederberger & J. Hürlimann**, 1997. Nach der Seesanieung die Revitalisierung der Seeufer. *Gas Wasser Abwasser* 77: 3-16.
- EPFZ** (Ecole polytechnique de Zürich), 1975. Etude concernant le remblayage des rives du lac à effectuer pour le passage de la route nationale N5 et en particulier son influence sur la prise d'eau de Champ-Bougin. *Laboratoire de recherches hydrauliques et glaciologiques*.
- HGF** (Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren), 1997. Belastung der Gewässer: Trends, Prognosen, Sanierungskonzepte. Vierjahresbericht 1992 bis 1995: 96-101. Thenée Druck. Bonn.
- ILU** (Institut für Landschaftspflege und Umweltschutz), 1991. Inselgruppen Reussdelta. Allgemeines Bauprojekt und Umweltverträglichkeitsbericht. Im Auftrag der Volkswirtschaftsdirektion und der Kommission für das Reussdelta. *Uster*.
- ILU** (Institut für Landschaftspflege und Umweltschutz), 1996. Regenerierung des Reussdeltas mit Ausbruchmaterial: Vorprojekt und UV – Voruntersuchung. *Uster*.
- Jeppesen E., M. Søndergaard & Christoffersen K.** (Eds.), 1998. The structuring role of submerged macrophytes in lakes. *Ecological studies* 131, Springer, Berlin, p. 423.
- Katz, W.**, 1997. Seetrübung durch Schwebstoffe aus dem Tunnelausbruch der Nationalstrasse N4. *Tiefbauamt Kt. Uri, Bericht*.
- Kirchhofer, A., B. Zaugg. & J.-C. Pedroli**, 1990. Rote Liste der Fische und Rundmäuler der Schweiz. *Documenta Faunistica Helvetiae* 9.
- Krause, W.** 1997. Carales (Charophyceae). Süsswasserflora von Mitteleuropa, 18. Fischer Verlag, 202 S.
- Lang, O.**, 1983, Landschaftsentwicklungsplan Reussdelta / Kanton Uri, Rohstoffsicherung und Landschaftspflege. Im Auftrag der Firma F. Arnold und Co., Flüelen. *Institut für Landschaftspflege und Umweltschutz, Uster*.
- Lang, O.**, 1995. Landschaftsentwicklungsplan Reussdelta 1983 (z.H. Kt. Uri). *Institut für Landschaftspflege und Umweltschutz, Uster*.

- Marrer, H.**, 1987. Baggergebiet Risleten, Beckenried. Gutachten. Fischereibiologische und limnologische Beurteilung (Beurteilung der Umweltverträglichkeit).
- Marrer, H.**, 1988. Sanierung des Seebades Stansstad. UVB zur Frage der Wiedereinbringung der gebaggerten Sedimente in den See. Solothurn.
- Marrer, H.**, 1989. Materialverschiebungen aus Deltas und Verlandungen im Vierwaldstättersee. Gutachten über die einzuhaltenden gewässerökologischen Randbedingungen. Solothurn.
- Marrer, H.**, 1990. Baggergebiet Aawasseregg, Buochs. Gutachten zu den gewässerökologischen Auswirkungen (mit Empfehlungen). Solothurn.
- Müller, G.**, 1964. Methoden der Sediment-Untersuchung. Sediment-Petrologie, Teil 1. *Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Basel.*
- Müller, R.**, 1992. Trophic state and its implications for natural reproduction of salmonid fish. *Hydrobiologia* 243/244: 261-268.
- Newcombe, C. P. & D. D. MacDonald**, 1991. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *N. Am. J. Fish. Manage.* 11: 72-82.
- NZZ** (Neue Zürcher Zeitung), 24. März 1974. Wohin mit dem Aushub aus dem Seelisbergtunnel? *NZZ Nr. 139, Seite 35.*
- Roenicke, H., H. Klapper, J. Tittel, M. Beyer & B. Zippel**, 1997. Control of phosphorous and plankton by calcite flushing in Lake Arendsee: Enclosure experiments. *Verh. intern. Verein. Limnol.* 26: 768-771.
- Saxer A. & W. Lukas**, 1997. Untersuchung des umweltrelevanten Gefährdungspotentials von Tunnelausbruchmaterial. *Felsbau* 15(2): 111-118.
- Schweizer Vogelwarte**, 1987. Inventar der Schweizer Wasservogelgebiete von Internationaler Bedeutung. Kap. 3.5, Sempach.
- Smart, R. & Barko, J.** 1985. Laboratory culture of submersed freshwater macrophytes on natural sediments. *Aquatic Botany* 21: 251-263.
- SNV** (Schweizerische Normenvereinigung), 1993. Identifikation der Lockergesteine (Feldmethode und Labormethode mit Klassifikation nach USCS). Normenblätter SNV 670'005a et 670'008a.
- Stössel, F.**, 1992. Die Bodenfauna im Hallwilersee dringt vor. *EAWAG-News* 34D: 23-26.
- Thalmann, C.**, 1993. Verantwortungsvolle Nutzung der Geobiosphäre. Nachdiplomkurs, Teil 1: Mineralische Rohstoffe.

Thalmann, C., 1994. Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem konventionellen und maschinellen Tunnelvortrieb zu Kiesersatzprodukten – eine Herausforderung an die Kieswerke. *Die Schweizer Baustoff-Industrie*, Heft 6/94.

Thalmann, C., 1996. Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagsstoffen. *Diss. Nr. 11721* ETH Zürich.

VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidg. Tech. Hochschule Zürich), 1992. Felssturz Ölberg an der Axenstrasse. Untersuchung der Schwallgefahr im Urnersee, *Bericht Nr. 4059*.

Wehrli, B. & A. Wüest, 1996. Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen. *EAWAG-Schriftenreihe* 9, S. 127 und Anhänge.