

# Bodenstabilisierung mit Kalk im Weiherbau

Autor(en): **Gmür, Albert M. / Egmond, Bram van**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 49

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78822>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Albert M. Gmür, Zürich, Bram van Egmond, Wildegg

## Bodenstabilisierung mit Kalk im Weiherbau

**Die Bodenstabilisierung mit Kalk hat sich beim Abdichten von Tanklagern bewährt und wurde von dort für den Bau von stehenden und fliessenden Gewässern übernommen. Am Fuss der Staumauer von Mauvoisin und im weiter talauswärts gelegenen Bonatchiesse wurde dieses Verfahren in den Jahren 1991 bis 1993 beim Bau von Weihern und Bächen eingesetzt.**

### Das Verfahren

Die Bodenstabilisierung wurde ursprünglich für den Bau von Strassen und Dämmen entwickelt. Durch Beimischen eines mineralischen Bindemittels (Zement, Kalk) wird vorhandenes Bodenmaterial derart stabil, dass es sich leicht einbauen lässt. Interessant im Zusammenhang mit dem Weiherbau ist bindiges Bodenmaterial (tonige Silte, Tone), das mit Weisskalk (Stabilit) stabilisiert wird. Dabei treten zwei Reaktionstypen auf:

- **Sofortreaktion:** Schon während des Einmischens reagiert der Weisskalk (hauptsächlich Calciumoxid, CaO) mit dem im Bodenmaterial enthaltenen Wasser unter Wärmeentwicklung zu Kalkhydrat, Ca(OH)<sub>2</sub>; er wird gelöst. Die bodenmechanischen Eigenschaften verbessern sich dadurch.
- **Langzeitreaktion:** Kalkhydrat reagiert mit Teilen der Tonmineralien, die auskristallisieren und den Boden verfestigen. Dieser Vorgang beginnt bereits bei der Kalkeinmischung und dauert Jahre.

### Planung

Die Kalkstabilisierung ermöglicht den Bau von Weihern in allen denkbaren Formen. Unterschiedliche Wassertiefen - örtlich sind Vertiefungen von 1,5 m und mehr möglich - und verschiedene Uferneigungen erlauben eine Unterteilung der Weiher in verschiedene Bereiche. Zu steile Böschungen und zu tiefe Weiher bilden allerdings für Kinder ein nicht zu unterschätzendes Risiko.

Im schweizerischen Mittelland beträgt die durchschnittliche Niederschlagsmenge etwa 3 mm/Tag. Dem stehen Wasserverluste durch Verdunsten (etwa 1 mm/Tag) und Versickern (1 bis maximal 2 mm/Tag) ge-

genüber. Bei Wassertiefen von weniger als 30 cm ist damit zu rechnen, dass ein Weiher im Sommer austrocknet und im Winter durchfriert, während mittlere Tiefen um 70 cm ständig ein ausreichendes Wasserniveau gewährleisten. Die Schwankungen des Wasserspiegels betragen allerdings 10 bis 20 cm.

### Bodenmaterial und Bindemittel

Bodenmaterial, das mit Kalk stabilisiert werden soll, muss mindestens 10 Prozent Ton enthalten. Zu niedrige Tongehalte können durch zugeführtes Material ausgeglichen werden.

Als Bindemittel wird sogenannter Stabilitkalk (gemahlener ungelöschter Weisskalk) verwendet, der zu mindestens 85 Prozent aus Calciumoxid besteht. Anstelle von Weisskalk darf in keinem Fall hydraulischer Kalk eingesetzt werden. Hydraulischer Kalk wird für andere Anwendungen produziert.

### Ausführung

Die Ausführung erfolgt im Ortsmischverfahren. Die Dosierung des Stabilitkalks liegt beim Weiherbau bei rund 40 kg/m<sup>3</sup> (d.h. bei etwa 8 kg/m<sup>2</sup> bei einer Mischtiefe von 20 cm). Genauere Werte werden mittels Laborversuchen und Baustellenkontrollen gemäss Norm SN 640 503 a festgelegt.

Das Bindemittel wird von Hand oder mit Streugeräten auf dem Boden verteilt, Staubentwicklung ist zu vermeiden. Dies kann erreicht werden, indem die Fallhöhe des Kalks möglichst niedrig gehalten wird. Augen, Haut und Atmungsorgane sind zu schützen.

Zum Mischen eignen sich Bodenfräsen oder Scheibeneggen, mit denen das Material langsam und mehrmals bearbeitet wird. Eine Mischung ist dann einbaubereit, wenn sie homogen, krümelig und gleichmässig gefärbt ist. Damit genügend Zeit für die Sofortreaktion zur Verfügung steht, darf eine mit Weisskalk behandelte Bodenschicht frühestens nach vier Stunden verdichtet werden.

Für Weiher sind mindestens drei Schichten mit 12 bis 15 cm Dicke erforderlich. Jede Schicht wird gut verdichtet. Muss Wasser zugegeben werden, soll es fein versprüht werden. Zwischen dem Einbau der einzelnen Schichten ist keine Wartezeit nötig. Für das Verdichten benützt man

übliche Walzen mit knetender Wirkung (Vibrationswalzen, leichte Schaffuss- oder Igelwalzen). Vibrostampfer eignen sich weniger gut.

An den Randpartien sind Neigungen bis zu 20° möglich. Sind steilere Ufer vorgesehen, werden die einzelnen Schichten horizontal eingebracht. Das aufbereitete Material lässt sich im unverdichteten Zustand während rund vier Monaten zwischenlagern, wenn es vor Wasser geschützt wird.

### Biologische Aspekte

Der pH-Wert des Wassers liegt anfänglich bei 9, nimmt aber im Verlauf der Zeit ab. Nach zehn Jahren wurden pH-Werte zwischen 7,5 und 8,5 gemessen. Bei Weihern mit Zu- und Abfluss sinkt der pH-Wert relativ rasch ab und erreicht Werte um 7.

Auf die stabilisierte Schicht wird eine Abdeckschicht eingebaut. Diese kann aus 10 bis 20 cm Sand, Kies oder tonigen Bestandteilen bestehen. Nährstoffreiche Materialien wie Humus sollen nie eingebracht werden.

Pflanzenwurzeln oder Rhizome (Wurzelstöcke von Stauden) dringen nicht von der Wasserseite her in die verfestigte kalkstabilisierte Schicht ein. Über Durchwurzelungen von aussen liegen noch keine Beobachtungen vor. Weiher in trockener Umgebung sollte man jedoch nicht in der Nähe von Bäumen anlegen.

Kalkstabilisierte Weiher können bei Bedarf mit geeigneten Wasserpflanzen bepflanzt werden. Bewährt hat sich eine Impfung der jungen Weiher mit Wasser aus einem benachbarten älteren Weiher. Mit ganz wenigen Ausnahmen stören Fische das biologische Gleichgewicht. Sie gehören deshalb nicht in Weiher!

### Bewährung und Unterhalt

Weiher mit einer Abdichtung aus kalkstabilisiertem Bodenmaterial werden erst seit rund zehn Jahren gebaut. Obwohl Langzeiterfahrungen noch ausstehen, darf diese Bauweise dank ihren Anpassungsmöglichkeiten empfohlen werden: Man verwendet einheimische Rohstoffe in einer umweltverträglichen Art. Die Weiher haben eine ökologische Funktion. Die kalkstabilisierte Schicht braucht keinen Unterhalt. Dank ihrer Festigkeit ist sie begehbar. Unterhaltsarbeiten - sofern solche erwünscht oder überhaupt erforderlich sind - werden dadurch erleichtert.

### Beispiel aus der Praxis

Die Staumauer von Mauvoisin, eine der grössten Bogenstaumauern, befindet sich

im Val de Bagnes, einem Seitental des mittleren Rhonetals. Als Folge einer Einsprache des WWF gegen die Erhöhung der Staumauer um 13,5 auf rund 250 m verpflichteten sich die Kraftwerke Mauvoisin AG, für die durch den Höherstau des Sees neu überfluteten Gebiete in grösserem Umfange ökologische Ausgleichsmassnahmen mit Wasserläufen und Weihern zu schaffen.

Diese Massnahmen wurden für zwei Orte vereinbart, nämlich für ein etwa 6 ha grosses Gebiet am Fuss der Staumauer (auf rund 1850 m ü. M.) und für ein weiteres Gebiet von etwa 3 ha Grösse, das rund 5 km weiter talauswärts auf einer ehemaligen Schwemmlandebene beim Weiler Bonatchiesse liegt. Seit Bauabschluss der ersten Weiher sind nun drei Jahre vergangen. Der Werdegang dieses speziellen Projektes und die bisherigen Erfahrungen werden nachfolgend vorgestellt.

**Konzept und Projektierung**

Als wesentlichste Massnahmen wurden vorgesehen:

- Landschaftliche Gestaltung der Ebene am Fuss der Staumauer mit drei bis vier grösseren Wasserflächen (etwa 3000 m<sup>2</sup>) sowie einem neuen Bachlauf mit einer Wasserführung von 50 l/s im Jahresmittel.

- Anlage von zwei neuen Bächen sowie von mehreren grossen Wasserflächen (rund 8000 m<sup>2</sup>) auf der Ebene bei Bonatchiesse. Die Weiher mussten durch einen der beiden Bäche gespiesen werden.

Das Reizvolle an der Aufgabe lag in einigen Besonderheiten, nämlich:

- Lage und Umfang der Abbaufächen am Fuss der Staumauer waren erst im Laufe des Sommers 1991 abzuschätzen. Mit dem Bau der Gestaltungs- und Ausgleichsmassnahmen musste jedoch noch im Herbst 1991 begonnen werden, um von den Leistungen des Baukonsortiums profitieren zu können.

Die Ebene am Fuss der Staumauer und das Gebiet von Bonatchiesse bestehen fast ausschliesslich aus Geröll und Steinblöcken. Zudem ist der Baugrund sehr durchlässig und dadurch für die Anlage von Stillwasserflächen und neuen Wasserläufen denkbar ungeeignet.

- Im Verlaufe der Gestaltungsarbeiten fielen unerwartet über 30 000 m<sup>3</sup> kiesiges Schuttmaterial an, welches auf der Ebene am Fuss der Staumauer noch unterzubringen war.

- Für die Gestaltungsmassnahmen am Fuss der Staumauer standen insgesamt nur rund fünf Monate zur Verfügung. Begonnen wurde im September 1991. Nach dem Win-

Bild 1. Siebkurven der vorhandenen Ausgangsmaterialien

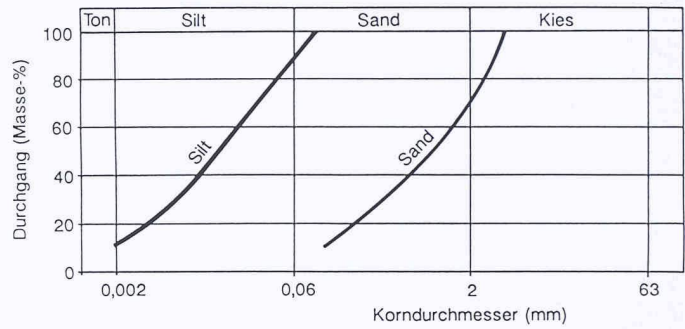


Bild 2. Siebkurven der Mischungen A und B

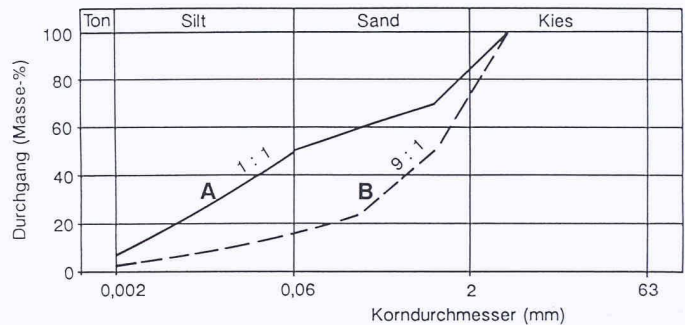


Bild 3. Verdichtungsversuche

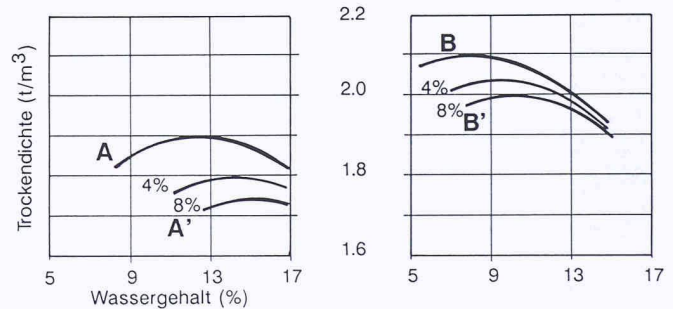


Bild 4. Schnitt durch einen Weiher

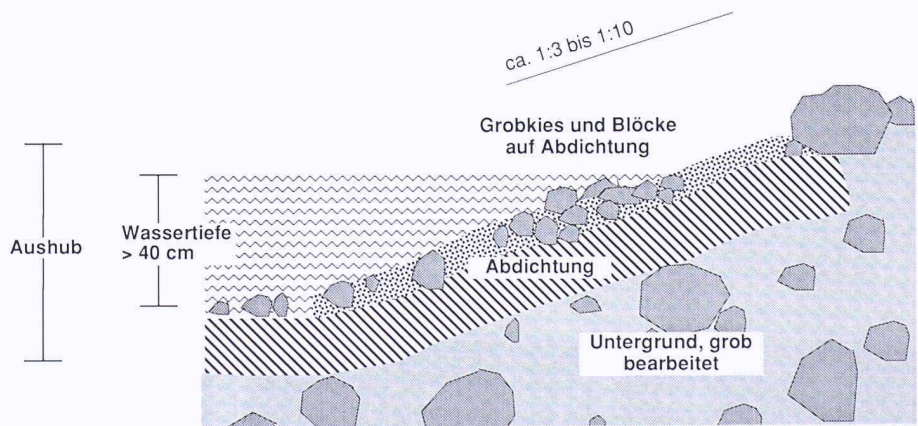
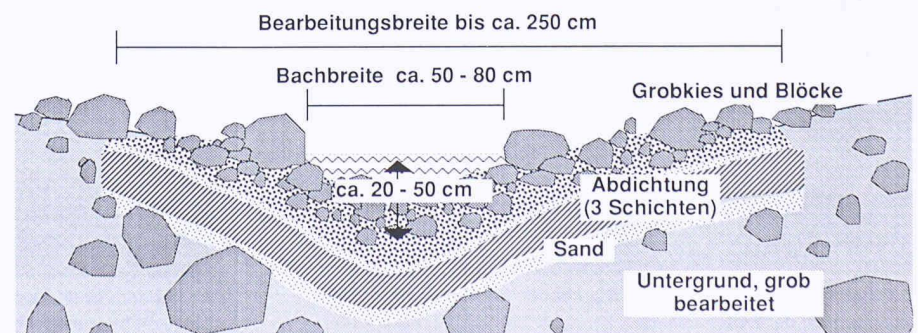


Bild 5. Schnitt durch ein neu angelegtes Fließgewässer





Aufbereitung der Abdichtungsmasse: Auf den Grundstoffen (Sand und Silt) werden die Tonminerale und Weisskalk sackweise verteilt, um optimale Ausgangsbedingungen zu schaffen



Aufbereitung der Abdichtungsmasse: Mischen mit der Bodenfräse



Bau der Weiher in der Ebene von Bonatchiesse. Beachtenswert ist der enorme Kies- bzw. Blockanteil des Baugrundes



Roh gestaltete Weiherlandschaft bei Bonatchiesse. Die Sohlenabdeckung aus Kiesmaterial ist teilweise bereits eingebaut



Zuflussloser Weiher am Fuss der Staumauer von Mauvoisin wenige Monate nach der Fertigstellung



Weiherlandschaft (Bonatchiesse), ein Jahr nach der Fertigstellung. Die nicht begrünt Flächen werden weitgehend sich selbst überlassen (Sukzession)

ter waren hier die Arbeiten von Mai bis August 1992 zu beenden.

Nach Bauabschluss im Herbst 1991 glich das ganze Gebiet am Fuss der Staumauer einer wüsten Kraterlandschaft. An eine Projektierung war für dieses Gebiet nicht zu denken. Die geplanten Massnahmen wurden auf der Basis des Gestaltungskonzeptes vor Ort in die Praxis umgesetzt; die Bauausführung wurde stetig begleitet. Auf der Ebene von Bonatchiesse war eine detaillierte Projektierung möglich. Die Ausführung der dortigen Objekte wurde erst im Spätsommer 1992 begonnen.

### Evaluation des Abdichtungsverfahrens

Die Art der Abdichtung der neu zu schaffenden Wasserflächen gab zunächst Anlass zu Diskussionen. Verschiedene bekannte Verfahren schieden infolge spezifischer Unzulänglichkeiten aus. Die Zufuhr wurde beispielsweise von Lehm oder Ton als Abdichtungsmaterialien aus ökologischen Gründen ausgeschlossen (Transportwege von mehr als 150 km). Zudem besteht im Val de Bagnes für Lastwagen eine Gewichtslimite von 15 t.

Nach umfangreichen Abklärungen konzentrierte man sich auf die Verfahren Asphaltichtung oder Dichtung mittels Kalkstabilisierung. Vom Bau der Staumauererhöhung war noch eine grosse Menge aufbereiteten Sandes (0 bis 3 mm) vorrätig. Es stellte sich die Frage, ob dieser als Hauptkomponente einer Kalkstabilisierung tauglich wäre. Die Betonstrassen AG, Wildeg, wurde mit der Aufgabe betraut, das vorhandene Material auf seine Eignung zu untersuchen. Schliesslich waren die Resultate so ermutigend, dass man eine Kalkstabilisierung vorsah. Damit konnte eine landschaftlich und finanziell optimale Lösung aufgezeigt werden, die in dieser Form erstmals überhaupt angewendet wurde.

### Laborversuche

Von zwei Bodenproben, nämlich einem sauberen Sand (Beton sand) und einem Silt wurden die Siebkurven (Bild 1) bestimmt. Silt war auf der zukünftigen Weiherbaustelle nur in beschränkter Menge verfügbar. Deshalb wurden im Labor die beiden folgenden Mischungen hergestellt:

- Mischung A: Sand/Silt 1: 1
- Mischung B: Sand/Silt 9: 1

Aus den Siebkurven (Bild 2) ist ersichtlich, dass beide Mischungen einen zu niedrigen Tonanteil aufweisen. Durch Beigabe von Tonmineralien (Opalit) wurden die Tonanteile auf etwa 12 Masse-Prozent in A ( $\rightarrow A'$ ) bzw. 8 Masse-Prozent in B ( $\rightarrow B'$ ) erhöht. Aufgrund von Verdichtungsversuchen mit den Mischungen A' beziehungsweise B' und 4 bis 8 Masse-Prozent gelösch-

tem Kalk (Bild 3) wurde der Bauherrschaft die folgende Rezeptur unterbreitet:

- Bodenmaterial:  
Sand mit mindestens 10 Masse-% Silt
- Tonmineralien:  
mindestens 150 kg Opalit/m<sup>3</sup> zugeben
- Weisskalk (Stabilit):  
etwa 40 kg/m<sup>3</sup>

### Bauausführung

Im August 1992 begann man am Fuss der Staumauer mit der Herstellung der Dichtungsmasse. Um die Dosierung über die ganze Bauzeit konstant zu halten, wurden die Komponenten lagenweise auf Flächen von 10×10 m ausgebreitet und anschliessend sorgfältig gemischt. Bei Bedarf wurde zusätzlich angefeuchtet. Zum Mischen bewährte sich ein Traktor mit Anbaufräse, wie sie in der Landwirtschaft verwendet werden. Das Mischgut lagerte vor dem Einbau während mindestens zwei bis drei Tagen.

Der Einbau der Dichtungsmasse erfolgte in die grob modellierten Mulden. Sicherheitshalber wurde an besonders heiklen Stellen vorgängig ein Geotextil verlegt. Darauf erfolgte der schichtweise Einbau des Mischgutes in drei Lagen zu rund 13 cm. Die Gewässersohlen wurden anschliessend mit einer 20 bis 50 cm dicken Schicht aus Gesteinsmaterial abgedeckt, in die einzelne grössere Blöcke eingesetzt wurden.

Im September 1992 begann man mit den Arbeiten auf der Ebene von Bonatchiesse. Neben einigen grösseren Weiherflächen waren hier auch viele kleine Weiher und Tümpel projektiert. Diese wurden für die rationelle Abdichtung zu grösseren Einheiten zusammengefasst. Die endgültige Ausformung der kleineren Objekte erfolgte dann mit Hilfe der nachträglich eingebauten Sohlenabdeckung, also mit Kies und Geröll.

Die neuen Wasserflächen wurden bis August 1992 fertiggestellt, 1993 erfolgten noch Pflanzungen und Saaten. Auf Bonatchiesse konnte die Anlage der Wasserflächen bis Ende September 1993 beendet werden; ihre Bepflanzungen erfolgten 1994.

### Zustand der neu geschaffenen Biotope

Schon die ersten Weiher auf Mauvoisin überzeugten auch Skeptiker von der Leistungsfähigkeit der Kalkstabilisierung: Die Sohlen und Ufer hatten sofort nach der Fertigstellung ein natürliches Aussehen. Der neugestaltete Bachlauf bewältigte die vorgegebene Wassermenge. Sämtliche Wasserflächen sind dicht; bis heute wurden keine Schäden beobachtet, es traten keine Wasserverluste auf.

Bereits 1994 konnten sehr viele Amphibien festgestellt werden. Der Laich ent-

### Bearbeitungsflächen

Ebene am Fuss der Staumauer von Mauvoisin:	
gestaltete Gesamtfläche	rund 7,5 ha
abgedichtete Flächen für Weiher und Bachlauf	rund 3000 m <sup>2</sup>
Gebiete von Bonatchiesse:	
gestaltete Gesamtfläche	rund 3 ha
abgedichtete Flächen für Weiher und Bachläufe	rund 8000 m <sup>2</sup>

Die Weiherflächen beziehungsweise Bachbreiten sind kleiner als die effektiv abgedichteten Flächen.

### Materialbedarf für die Abdichtungen

Zur Abdichtung der Weiherflächen wurden in der Regel drei Schichten, für Fließgewässer je nach Sohlengefälle zwei bis drei Schichten eingebracht. Kleinere Tümpel erhielten zwei Schichten. Es resultierte folgender Materialbedarf:

Sand 0-3 mm	rund 3700 m <sup>3</sup>
Material aus Absetzbecken	rund 750 m <sup>3</sup>
Opalit (in Säcken à 50 kg)	rund 700 t
Stabilitkalk (in Säcken à 50 kg)	rund 150 t

### Beteiligte

#### Bauherrschaft:

Forces Motrices de Mauvoisin SA, Sion

#### Konzept und Detailprojektierung der Anlagen:

BfÖ (Bürogemeinschaft für angewandte Ökologie), Zürich, in Zusammenarbeit mit Ecotec AG, Genf

#### Überwachung der Gestaltungs- und Abdichtungsarbeiten:

EWI Ingenieure + Berater, Zürich

#### Laboruntersuchungen des Dichtungsmaterials:

TFB (vormals Betonstrassen AG), Wildeg

#### Unternehmung:

Fa. Gaillard, Gartenbau, Le Châble

wickelte sich normal. Die pH-Werte, ein vieldiskutierter Punkt dieses Verfahrens, verhielten sich wie folgt:

Sofort nach der Erstellung 1992/93

pH 9 bis 9,5 (im Mittel aller Weiher)

Herbst 1994

pH 8 bis 8,5 für Weiher ohne Zufluss

pH 7,5 bis 8 für Weiher mit Zufluss

Der seitliche Zufluss hat einen pH-Wert von rund 7 bis 7,5.

### Adressen der Autoren:

Albert M. Gmür, Bürogemeinschaft für angewandte Ökologie (BfÖ), Seefeldstrasse 224, 8008 Zürich

Bram van Egmond, Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie (TFB), Lindenstrasse 10, 5103 Wildeg