

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 96 (2004)
Heft: 7-8

Artikel: Analyse des Schadenfalls an der Blockrampe Grande Eau
Autor: Semadeni, Nadia / Tognacca, Christian / Bezzola, Gian Reto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939576>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 11.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Analyse des Schadenfalls an der Blockrampe Grande Eau

■ Nadia Semadeni, Christian Tognacca, Gian Reto Bezzola

Zusammenfassung

Während des Hochwassers im Mai 1999 wurde die 200 m lange Blockrampe an der Grande Eau bei La Tine VD stark beschädigt, obwohl der Spitzenabfluss des Hochwasserereignisses deutlich unter dem Bemessungsabfluss für die Rampe lag. Das frühe Versagen war auf die lokal erhöhte Belastung der Rampe, auf Schwierigkeiten bei der Ausführung der Rampe sowie auf den Einfluss der Rutschbewegung des rechten Hanges zurückzuführen. Eine lokal erhöhte Belastung resultierte aus der speziellen Gerinnegeometrie mit einer Linkskurve und aus dem Quergefälle auf der Rampe.

Das Beispiel der Rampe Grande Eau zeigt, dass in Situationen mit dreidimensionalen Strömungsverhältnissen auf einer Rampe die Anwendung von Stabilitätskriterien nicht ohne zusätzliche Überlegungen möglich ist, da diese in der Regel aus eindimensionalen Modellversuchen abgeleitet wurden.

1. Einleitung

Während des Hochwassers im Mai 1999 wurde die Blockrampe an der Grande Eau bei La Tine VD stark beschädigt. Aufzeichnungen der Messstelle der Landeshydrologie und Geologie (LHG) in Aigle ergaben einen Spitzenabfluss von $52 \text{ m}^3/\text{s}$, was etwa einem fünfjährlichen Abfluss entspricht. Als Bemessungsabfluss für die Blockrampe waren

$90 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt worden, was einem Abfluss mit einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren entspricht. Die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich untersuchte nach dem Hochwasserereignis von 1999 die nach den Stabilitätskriterien von Whittaker/Jäggi (1986) bemessene Blockrampe und analysierte deren frühes Versagen (VAW 1999).

2. Situation

Die Grande Eau entwässert ein Gebiet von 132 km^2 und mündet bei Aigle in die Rhone ein. Das Gerinne der Grande Eau am Fuss der ausgedehnten Rutschung «La Frasse» wies im unverbauten Zustand eine Breite von 6 bis 12 m auf. Die wichtigsten negativen Folgen der Rutschung waren die ständigen Deformationen der Kantonsstrasse 705a und die Gefahr der Blockade der Grande Eau bei einer plötzlichen Instabilität des Rutschhangs.

Der betrachtete Flussabschnitt liegt in einem engen Tal mit einer steilen linksufrigen Felswand und der Rutschung «La Frasse» am rechten Ufer.

Nach einem oberen, flachen Abschnitt beschreibt das Gerinne eine Linkskurve, an die der untere, mit 17% Längsneigung deutlich steilere Abschnitt anschliesst. Der Bau der 200 m langen Rampe begann 1988 und wurde in mehreren Etappen 1996 fertig gestellt (Bild 1). Neben der Vereinheitlichung der Gerinnebreite auf 12 m wurden sieben Querriegel aus einbetonierten Blöcken in unregelmässigen Abständen sowie eine Ge-

genschwelle realisiert. Der Fuss der Querwerke wurde mit in den Untergrund gerammten, etwa 5 m langen Eisenbahnschienen stabilisiert.

Die Sohle zwischen den Querriegeln wurde als klassische Blockrampe ausgebildet. Die Blockrampe wurde entgegen der Fliessrichtung erstellt. Die Blöcke der Rampe wurden auf einer Filterschicht eingebaut, welche hauptsächlich aus dem Material eines Felssturzes im Januar 1988 bestand.

Bild 2 zeigt einen Überblick über die realisierte Rampe im Bereich flussabwärts der Linkskurve. Das Gerinne wurde auf eine mehr oder weniger einheitliche Breite von 12 m ausgebaut und eine Mauer am Fuss des Rutschhangs erstellt. Gut sichtbar ist das Quergefälle, welches die Rampe im Bereich der Querriegel 4 bis 6 aufweist. Eine Übersicht des realisierten Bauwerks ist Bild 3 zu entnehmen.

3. Hochwasserereignisse und Schäden

Während des Hochwassers vom Mai 1999 mit einem maximalen Abfluss von $52 \text{ m}^3/\text{s}$ wurden eine grosse Anzahl von Blöcken aus dem Rampengefüge erodiert und die Querriegel teilweise beschädigt (Bild 4a). In der oberen flachen Strecke bis zur Linkskurve waren keine Schäden aufgetreten. Diese waren vor allem auf der linken Gerinneseite auf einer Länge von zirka 70 m zwischen den Querriegeln 4 und 7 zu verzeichnen. Die Schäden bestanden aus der direkten Erosion von Blöcken, dem Einsinken von Blöcken und



Bild 1. Bau der Blockrampe 1987; Baupiste und eingeeignetes Gerinne, Blick gegen die Fliessrichtung (Foto: J.-P. Zuppiger).



Bild 2. Blockrampe und rechtsufrige Mauer im verbreiterten unteren Teil im Jahr 1989, Blick von der Gegenschwelle flussaufwärts (Foto: J.-P. Zuppiger).

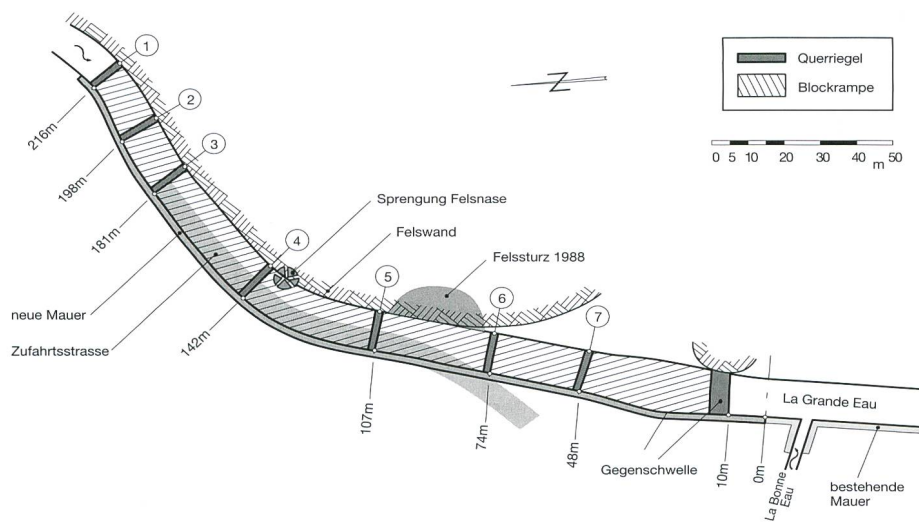


Bild 3. Situation der Blockrampe nach der Fertigstellung im Jahr 1996.

dem Abtrag von Blöcken aus der obersten Lage der Querriegel (Bild 4b). Die erodierten Blöcke wurden im Bereich des letzten Querriegels und der Gegenschwelle abgelagert. Die direkte Erosion von Blöcken führte zwischen den Querriegeln 4 und 6 zu einer Reduktion des Gefälles. Wie aus Bild 4c ersichtlich ist, wirkten diese Querriegel nun als Abstürze. Weiter führte das Hochwasser zur Erosion von Blöcken aus der Ufermauer bei

der Gegenschwelle und zur Vertiefung des bereits bestehenden Kolks flussabwärts der Gegenschwelle.

Vergleichbare Schäden an der Blockrampe Grande Eau waren bereits bei einem früheren Hochwasser im Jahr 1990 (mit einem maximalen Abfluss von 53 m³/s) entstanden. Die Schäden von 1990 und 1999 unterschieden sich jedoch hinsichtlich ihres Ausmasses und waren im Mai 1999 aufgrund

der längeren Dauer des Hochwasserereignisses wesentlich grösser. Vor einer erneuten Sanierung nach dem Hochwasserereignis von 1999 musste die Ursache für das frühe Versagen der Blockrampe abgeklärt werden.

4. Dimensionierungsannahmen

Die Blockrampe zwischen den Querriegeln wurde nach den Stabilitätskriterien von Whitaker und Jäggi (1986) dimensioniert. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

- Als massgebender Abfluss wurde das 50-jährliche Hochwasser mit einem Spitzenabfluss von 90 m³/s gewählt. Die Gerinnebreite gemäss Projekt betrug 12 m. Daraus resultierte ein spezifischer Bemessungsabfluss q_{Projekt} von 7,5 m²/s.
- Mit einem charakteristischen Blockdurchmesser D_{65} von 1,0 m und dem verwendeten Filtermaterial mit einem charakteristischen Korndurchmesser d_{65} von 0,3 bis 0,4 m (Mächtigkeit von 1 m) bei einem maximalen Rampengefälle von 17% resultierte nach der Bemessungsgleichung für die direkte Erosion von Whittaker und Jäggi (1986)

$$q_{\text{zul}} = 0,257 \cdot \sqrt{g \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} \cdot J^{-7/6} \cdot D_{65}^{3/2} \quad [1]$$

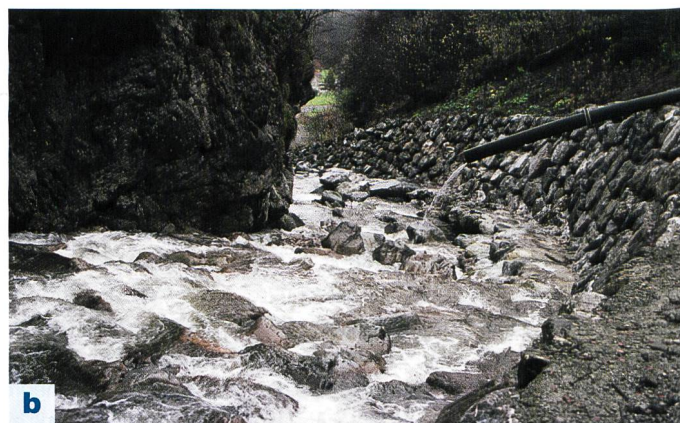


Bild 4. Hochwasserereignis vom Mai 1999; a) bordvoller Abfluss, Blick gegen die Fliessrichtung; b) Schäden im Bereich der Linkskurve, Blick in Fliessrichtung; c) Übersicht über die Schäden im unteren Rampenteil, Blick von der Gegenschwelle gegen die Fliessrichtung.

ein maximal zulässiger spezifischer Abfluss von $8,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Das Bemessungskonzept von Whittaker und Jäggi (1986) sieht daneben auch für die indirekte Erosion eine Bemessungsgleichung vor. Aufgrund des gewählten Rampenaufbaus kann angenommen werden, dass die Rampe auf innere Erosion genügend dimensioniert war.

5. Beurteilung der Schadensursachen

Im Rahmen der Schadensanalyse erfolgte die Beurteilung der Strömungsverhältnisse auf der Blockrampe mittels zweidimensionalen hydraulischen Berechnungen. Diese wurden mangels genauerer Grundlagen für die Geometrie der projektierten Rampe durchgeführt (Bild 5). Die Berechnung basiert auf einer gleichmässigen Gerinnebreite von 12 m und einer Neigung von 1:2 im Bereich der rechten Ufermauer.

Die Resultate der Berechnung zeigen, dass der Abfluss nicht homogen über die Breite der Rampe verteilt ist (und somit keine eindimensionalen Strömungsverhältnisse herrschen) und es insbesondere durch das Quergefälle und den Kurveneffekt lokal zu stark erhöhten spezifischen Abflüssen und somit erhöhten Belastungen kommt (Bild 6). Die tatsächlich auftretenden spezifischen Abflüsse sind praktisch gleich gross, wie der mit der Gleichung [1] bestimmte Grenzabfluss für die direkte Erosion. Das Hochwasserereignis vom Mai 1999 mit einem maximalen Abfluss von $52 \text{ m}^3/\text{s}$ reichte aus, um lokal spezifische Belastungen zu erreichen, welche aufgrund der eindimensionalen Bemessung erst bei einem Abfluss von $90 \text{ m}^3/\text{s}$ zu erwarten waren.

Neben der lokal erhöhten Belastung führten zudem Schwierigkeiten bei der Ausführung der Rampe sowie der Einfluss der Rutschbewegung bereits vor dem Ereignis zu einer Schwächung des Rampengefüges. Die Schwierigkeiten bei der Ausführung waren die eingegengten Platzverhältnisse, die Bewegungen des Rutschhanges und eine optimale Verzahnung der Blöcke. Diese war aufgrund der sehr steilen Felswand auf der linken Gerinneseite und der Mauer auf der rechten Seite schwierig zu realisieren. Im Weiteren waren die verwendeten Blöcke von inhomogener Form und Grösse. Schliesslich sind die Übergänge zwischen starren Elementen (den aus Blöcken erbauten Querriegeln) und der Blockrampe generell als heikel zu bezeichnen.

Eine erhöhte Beanspruchung entstand auch aus den Unterschieden zwischen der Gerinnegeometrie der realisierten und der projektierten Rampe. Diese hatten zu einer gegenüber den Bemessungsannahmen be-

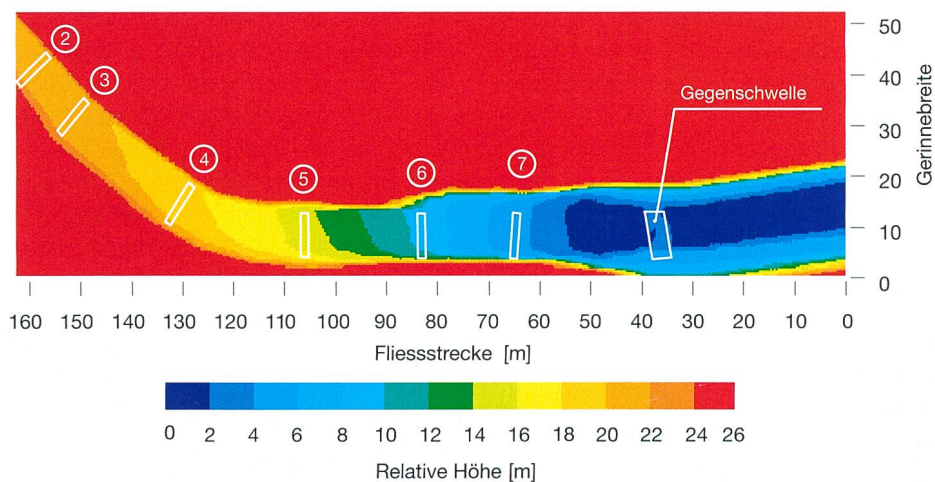


Bild 5. Geometrie der projektierten Rampe.

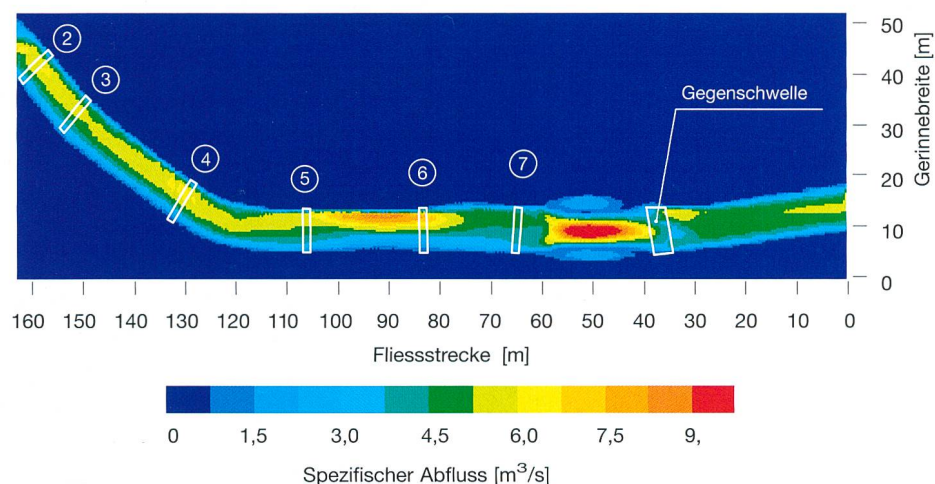


Bild 6. Berechnete spezifische Abflüsse für einen Abfluss von $52 \text{ m}^3/\text{s}$.

deutenden Erhöhung des spezifischen Abflusses und somit der Belastung geführt. Im Bereich der Linkskurve wies das Gerinne eine minimale Breite von 8 m auf. Die Folge dieser Einengung sind spezifische Abflüsse, die lokal um bis zu 50% über den berechneten spezifischen Abflüssen liegen können. Die rechte Ufermauer war zudem mit 4:1 deutlich steiler als projektiert, wodurch der tatsächliche Abflussquerschnitt kleiner ist und die spezifischen Abflüsse gegenüber der Rechnung grösser werden.

6. Fazit zum Schadensfall Grande Eau

Basierend auf der Beurteilung des Zustands der Blockrampe im Herbst 1999, der umfangreichen Schadensdokumentation (Zuppiger 2003), der nachträglich durchgeführten Simulationsrechnungen und der Berücksichtigung der erfolgten Projektanpassungen kann eine Reihe von möglichen Ursachen für das Versagen der Blockrampe identifiziert werden. Es ist jedoch schwierig zu sagen, ob es eine Hauptursache gegeben hat. Vielmehr wurden zwei Gruppen von Ursachen für das frühe Versagen der Rampe erkannt: der reduzierte Erosionswiderstand der Rampe einer-

seits und andererseits die lokal erhöhte Belastung des Bauwerks infolge der komplexen Gerinnegeometrie.

- Die Struktur der Blockrampe war nicht homogen. Die Blöcke wiesen unterschiedliche Formen und Grössen auf und wurden nicht vertikal gestellt. Es muss deshalb damit gerechnet werden, dass im Gefüge beim Übergang zu den Querriegeln und dem Mauerwerk Schwachstellen vorhanden waren. Die Rutschbewegung hatte wahrscheinlich ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Blockrampe ausgeübt und deren Gefüge geschwächt.
- Drei Faktoren beeinflussten die Strömungsverhältnisse auf der Blockrampe entscheidend und führten zur lokalen Erhöhung des spezifischen Abflusses: die Linkskurve, das Quergefälle der Sohle und die Einengung des Gerinnes in der Linkskurve. Aufgrund der komplexen Gerinnegeometrie waren die Strömungsverhältnisse in der untersuchten Fließstrecke eindeutig dreidimensional.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Rampe auf innere Erosion genügend dimensioniert war und darum die primäre Ursache der Zerstörung der Blockrampe mit

grosser Wahrscheinlichkeit die Erosion von einzelnen Blöcken war. Sobald das Blockgefüge durch Erosion einzelner Blöcke aufgelöst war, wurde lokal die Belegungsdichte vermindert, sodass auch die Erosion der Filterschicht einsetzen konnte.

Zum Zeitpunkt des Baus der Rampe Grande Eau waren die Erfahrungen mit der Realisierung von Blockrampen noch relativ beschränkt. Dies mag erklären, warum man bei der Projektierung und dem Bau der Rampe Grande Eau bezüglich der im Nachhinein erkannten Probleme noch zu wenig sensibilisiert war.

Die Blockrampe Grande Eau wurde nach dem Hochwasserereignis 1999 provisorisch saniert. Zurzeit wird die Rutschung stabilisiert, und mittelfristig soll ein neues Konzept für den Gerinneausbau erstellt werden.

7. Generelle Folgerungen

Das Beispiel des Schadenfalls Grande Eau zeigt, dass in Situationen mit dreidimensionalen Strömungsverhältnissen auf einer Rampe die Anwendung der gängigen Stabilitätskriterien nicht ohne zusätzliche Überlegungen möglich ist, da die einfachen Stabilitätskrite-

rien einen über den Abflussquerschnitt homogen verteilten Abfluss sowie eindimensionale Strömungsverhältnisse voraussetzen. Für nicht eindimensionale Strömungsverhältnisse kann beispielsweise auf eine 2-D-Berechnung zurückgegriffen werden, mit welcher sich die spezifischen Abflüsse bei komplexen Verhältnissen ermitteln lassen. Auf der Basis der tatsächlichen spezifischen Abflüsse kann dann mit den herkömmlichen Ansätzen die Blockgrösse bestimmt werden. Generell muss bei der Anwendung von Stabilitätskriterien deren Gültigkeitsbereich beachtet werden.

Von grosser Bedeutung für die Stabilität einer Rampe sind eine fundierte Bemessung und eine sorgfältige Ausführung. Für die Zustandsbeurteilung einer Rampe sind periodische Überwachungen nötig, welche im Fall sich abzeichnender Schäden ein rechtzeitiges Eingreifen ermöglichen. Eine detaillierte Dokumentation des ausgeführten Bauwerks stellt einerseits die Grundlage für eine Zustandsbeurteilung dar und ermöglicht andererseits im Falle eines Versagens, wie im Fall der Grande Eau, eine Analyse der Schadensursachen.

Literaturhinweise

VAW (1999): Blockrampe Grande Eau, Untersuchung der Ursachen der Zerstörung der Blockrampe an der Grande Eau. VAW-Bericht Nr. 4117-71, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Zürich (unveröffentlicht).

Whittaker, J. und Jäggi, M. (1986): Blockschwellen. Mitteilung Nr. 91 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

Zuppiger, J.-P. (2003): Fotodokumentation der Grande Eau. Service des eaux, sols et assainissement, Rue du Valentin 10, 1014 Lausanne.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Nadia Semadeni (semadeni@vaw.baug.ethz.ch); Dr.-Ing. Gian Reto Bezzola (bezzola@vaw.baug.ethz.ch), Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich.

Dr.-Ing. Christian Tognacca (ctognacca@iteco.ch), Iteco Ingenieurunternehmung AG, Alte Obfelderstrasse 68, Postfach, CH-8910 Affoltern a/A.

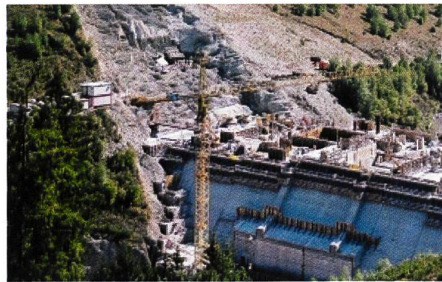
Spezialzement für kühlen Beton

Ungewöhnliche Aufgaben fordern ausserordentliche Lösungen

Für die Stauwand der Talsperre Leibis/Lichte in Thüringen, unweit von Saalfeld, lieferte Lafarge einen Zement, der neben vielen komplexen Eigenschaften vor allem eine niedrige Hydratationswärme aufweist. Alle am Bau Beteiligten gehen davon aus, dass in einem Betonblock bei einer Temperaturdifferenz zwischen Betonkern und Betonoberfläche von grösster 18 Kelvin Eigenspannungen auftreten, die zu feinen Rissen führen können. Beim Abbinden der teilweise über 1000 m³ grossen Betonblöcke entstehen im Kern, in Abhängigkeit der Frischbeton- und Lufttemperatur, der Temperatur des Vorgängerblocks und der Nachbehandlung, Temperaturen von unter 20 °C im Winter, aber auch über 30 °C im Sommer.

Alles, was kühl macht

Der Zement, der die geforderte geringe Hydratationswärme einhält, ist ein CEM II/B-S 32,5 R-NA. Er besitzt die bauaufsichtliche Zulassung des DIBt in Berlin und besteht aus 65 bis 70 % grob gemahlenem Portlandzement-



Die Talsperre Leibis/Lichte im Bau.

klinker sowie 30 bis 35 % extra fein gemahlenem Hüttensand. Daneben musste auch die Gesteinskörnung ihren Beitrag leisten. Eine komplizierte Sieblinie mit einem Grösstkorn von bis zu 125 mm erlaubt die Reduktion des Zementgehaltes, rezepturabhängig in den Sorten mit Grösstkorn 125 mm, auf 120 bis 150 kg pro Kubikmeter. Das Zugabewasser wird grösstenteils durch Scherbenwasser ersetzt, die Körnung beschattet und die Anliefertemperatur der Ausgangsstoffe begrenzt. Damit gelingt es, die Temperatur des Frischbetons je nach Bedarf zwischen 7 und 15 °C einzustellen. Diese ungewöhnliche Rezeptur, sie wurde im Zentrallabor von Bilfinger Berger



entwickelt, liefert zuerst nur einen unscheinbaren erdfeuchten Beton, der allerdings verdichtet und abgebunden wasserundurchlässig ist.

Ende 2004 ist Fertigstellungstermin für die Stauwand. Sie wird dann 102,5 m hoch sein und aus rund 580 000 m³ Beton bestehen. Bis dahin ist Leibis/Lichte eine Baustelle der Superlative.

Für weitere Informationen:

Kristina Keck, Tel. +49 (0) 6171 61-4330, Fax +49 (0) 6171 61-4289, E-Mail: Kristina.Keck@lafarge-zement.lafarge.com