**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt

**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

**Band:** 101 (1983)

**Heft:** 36

**Artikel:** Kiesschlamm als potentieller Rohstoff?. II. Technologisches Verhalten von thermisch aktiviertem Kiesschlamm

**Autor:** Iberg, Rolf / Peters, Tjerk / Mumenthaler, Thomas

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-75189

**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:** 14.01.2026

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

sie zu weniger auffälligen und langsameren Verwitterungsschäden führt. Sie wird dann, wie dies sogar in unserem spektakulären Fall zuerst getan wurde, pauschal dem sauren Regen in die Schuhe geschoben. Das führt dann elegant am eigentlichen Problem vorbei, was bei wertvollen Kulturgütern wie z. B. Wandmalereien keineswegs harmlos ist. Denn die Folgenschäden bautechnischer, restaurativer und konservierungstechnischer Eingriffe können mit Umweltschutz allein nicht behoben werden.

Auf alle Fälle ist das Fazit dieser Fallstudie eine *sehr ernste Warnung vor der unbedachten Verwendung von Ameisensäure* als harmlosem Reinigungsmittel, das praktisch jeder Wagen von Reinigungsinstituten mitführt und auch von renommierten Restauratoren an Wandmalereien verwendet wird.

Adresse der Verfasser: Dr. *A. Arnold*, Mineraloge, und Dr. *K. Zehnder*, Institut für Denkmalpflege, ETH Zürich, Technologisches Labor, Fabrikstr. 46, 8005 Zürich.

# Kiesschlamm als potentieller Rohstoff?

## II. Technologisches Verhalten von thermisch aktiviertem Kiesschlamm

Von Rolf Iberg, Zürich, Tjerk Peters, Bern und Thomas Mumenthaler, Zürich

2. Zwischenbericht aus dem Forschungsprojekt «Beitrag zur Nutzbarmachung und Bewirtschaftung stark verlehmter Kiesvorkommen», das im Rahmen des *Nationalen Forschungsprogramms* «Rohstoff- und Materialprobleme» des *Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung* durchgeführt wird.

### Einleitung und Problemstellung

Der erste Zwischenbericht [1] aus dem Forschungsprojekt «Beitrag zur Nutzbarmachung und Bewirtschaftung stark verlehmter Kiesvorkommen» behandelt die Problematik der Kiesgewinnung aus stark verlehmten Kiesvorkommen, die chemisch-mineralogische Zusammensetzung der dabei anfallenden Kiesschlämme sowie die Verwertungsmöglichkeiten von Kiesschlamm im ziegeleitechnischen Prozess. Im vorliegenden zweiten Zwischenbericht soll über das Verhalten von thermisch aktiviertem Kiesschlamm, insbesondere als Bindemittel in hydraulisch gebundenem Mörtel, berichtet werden.

Durch die Idee, aus ton- und kalkhaltigen, *sogenannt wenig wertvollen Rohstoffen*, wie auch Kiesschlämmen, durch eine kurze thermische Behandlung bei rund 900 °C, einen abbindefähigen Baustoff zu erzeugen, wurde Ende der 60er Jahre das sog. «Röstton-Verfahren» entwickelt [2]. Dabei stand die *hydrothermale* Erhärtung von thermisch aktivierten Rohstoffen im Vordergrund. Von *Haller, Kollbrunner* und *Iberg* [3] erschien 1969 eine Arbeit über die Verwertung von mergeligen Molassesandsteinen nach diesem Verfahren. In der Folge wurde der Untersuchungsschwerpunkt immer mehr auf die Verwertung von thermisch aktiviertem Kiesschlamm verlagert, so z.B. als Bindemittel für hydrothermal gehärtete Baustoffe nach dem Kalksandsteinverfahren. Anderseits wurde auch die Verwendung von aktiviertem Kiesschlamm für *Bodenstabilisierungen* geprüft, wobei sich zeigte, dass die thermische Aktivierung einen fühlbaren *hydraulischen Effekt* bewirkt.

Eine weitere Studie in diesem Problemkreis bildet die von *Mumenthaler* [4] im Rahmen des Biga-Projektes Nr. 796 der Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung durchgeführte Arbeit, in der die Eignung von schweizerischen Kiesschlammtypen als hydrothermales Bindemittel untersucht wurde. Eingehend behandelt wurden dabei die *Mineralreaktionen*, die während dem Brennen bei etwa 900 °C (sog. Aktivierung), der Hydratisierung und der hydrothermalen Erhärtung im Autoklav bei 200 °C ablaufen sowie die physikalischen Eigenschaften an erhärteten Probekörpern. Auch bei diesen Untersuchungen wurde erkannt, dass vereinzelte thermisch aktivierte Kiesschlämme eine hydraulische Aktivität besitzen, auf dieses Verhalten konnte aber nicht näher eingegangen werden.

Das hydraulische Verhalten von thermisch aktiviertem Kiesschlamm wurde bis jetzt kaum untersucht und ist deshalb Gegenstand einer weiteren Verwertungsstudie, über deren Ergebnisse nachfolgend berichtet wird. Anhand von Prismen und gemauerten 3-Steinkörpern (Bild 1) wurde eine Vielzahl systematisch formulierter Mörtelmi-

*Bild 1. Versuchskörper. Links: Mörtelprismen 40×40×160 mm. Rechts: 3-Steinkörper*

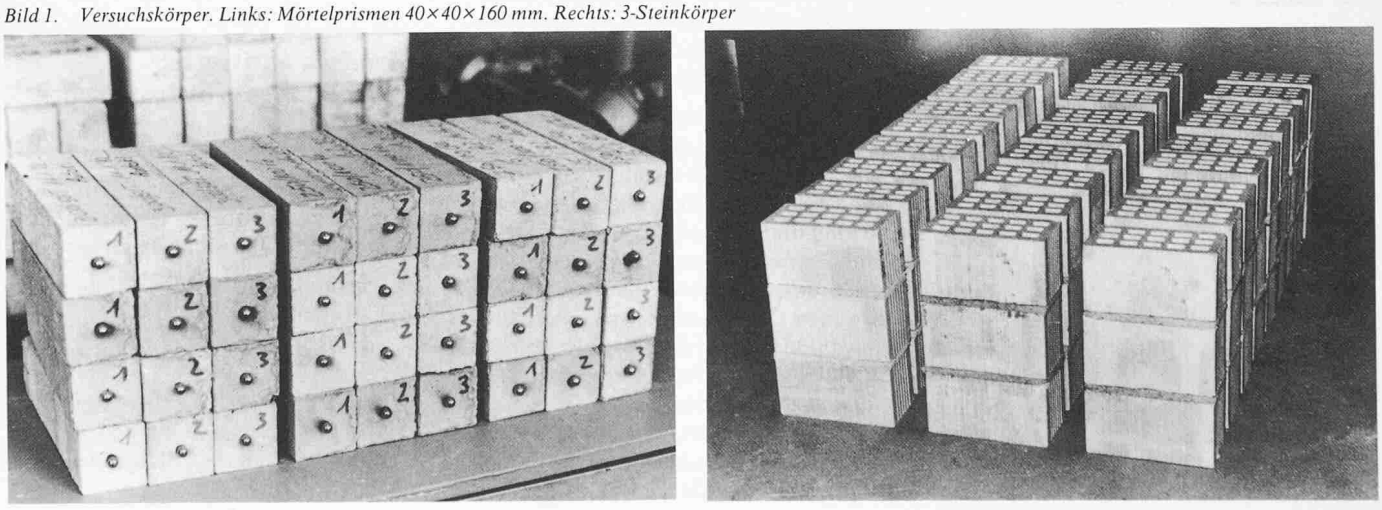


*Tabelle 1. Aktivierungsbedingungen der sieben Kiesschlammtypen*

| Kiesschlamm Typ | Max. Brenntemperatur [°C] | Neigung Rohr Grad | Drehzahl Rohr pro Min. | Menge akt. Material pro Minute [g] | Durchlaufzeit Material [Min.] | Korngrösse des Granulates [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 925 | 5 | 11,5 | 35–45 | 2–3 | 0–2 |
| B | 916 | 5 | 11,5 | 35–45 | 2–3 | 0–2 |
| C | 902 | 5 | 11,5 | 35–45 | 2–3 | 0–2 |
| D | 930 | 5 | 11,5 | 35–45 | 2–3 | 0–2 |
| E | 902 | 5 | 11,5 | 35–45 | 2–3 | 0–2 |
| F | 912 | 5 | 11,5 | 35–45 | 2–3 | 0–2 |
| G | 912 | 5 | 11,5 | 35–45 | 2–3 | 0–2 |

*Tabelle 2. Zusammensetzung der aktivierten Kiesschlämme*

| Kiesschlamm-Typ Herkunft | A Region Genfersee | B Region Fribourg | C Region Aarau/Luzern | D Region Zürich | E Region Zug | F Region Chur | G Region Bodensee |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | % | % | % | % | % | % |
| Glühverlust bei 1000 °C | 1,1 | 1,95 | 1,5 | 1,1 | 1,33 | 0,9 | 1,3 |
| $CO_2$ | 0,55 | 1,0 | 0,72 | 0,5 | 0,2 | 0,65 | 1,0 |
| $H_2O$ | 0,55 | 0,95 | 0,78 | 0,6 | 1,1 | 0,25 | 0,3 |
| Tot. CaO [1] | 51,3 | 26,0 | 19,9 | 27,5 | 29,7 | 14,0 | 36,1 |
| Tot. MgO [1] | 2,8 | 3,3 | 3,5 | 3,9 | 3,7 | 3,2 | 9,8 |
| freies CaO [2] | 33,2 | 14,3 | 10,0 | 21,3 | 13,2 | 10,5 | 27,0 |
| gebundenes CaO [3] | 18,1 | 11,7 | 9,9 | 6,2 | 16,5 | 3,5 | 9,1 |
| $CaCO_3$ | 1,2 | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 0,4 | 1,2 | 1,3 |
| $Ca(OH)_2$ | 2,3 | 3,9 | 3,2 | 2,5 | 4,5 | 1,0 | 1,2 |
| Quarz | ca. 15 | ca. 20–25 | ca. 25 | ca. 35 | ca. 20 | ca. 40 | ca. 30 |
| Feldspäte (Albit, K-Feldspat) | ca. 10 | 10 | 15 | 20 | 10 | 25 | 10 |
| Gehlenit } Neubildungen | 7 | 7 | 4 | 4 | 5 | 1–2 | >1 |
| $C_2S$ } Neubildungen | ++ | + | + | + | + | Sp. | + |

[1] lösliches CaO und MgO in HCL 6-n [2] nach der Zucker-Methode [3] Differenz Totales CaO–freies CaO
Sp. = Spuren + = wenig ++ = mittel

*Tabelle 3. Siebrückstand und spezifische Oberfläche der aktivierten, gemahlenen Kiesschlämme*

| Kiesschlamm-Typ | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Siebrückstand > 0,09 mm % | 5,5 | 4,4 | 6,0 | 5,8 | 5,0 | 7,6 | 4,0 |
| Spezifische Oberfläche nach Blaine [cm²/g] | 16 150 | 9300 | 8120 | 5490 | 8790 | 5610 | 7540 |

schungen aus Normsand und Zement, hydraulischem Kalk und aktiviertem Kiesschlamm untersucht.

## Thermische Aktivierung

Die thermische Aktivierung erfolgte an den sieben im ersten Zwischenbericht definierten Kiesschlammtypen A bis G. Die zuerst granulierten und getrockneten Kiesschlämme wurden in einem Labordrehrohrofen aktiviert.

Die Aktivierungsbedingungen der einzelnen Versuche sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Von Bedeutung ist die Begrenzung der maximalen Granulatsgrösse auf 2 mm, da mit zunehmender Korngrösse der Aktivierungsprozess deutlich verzögert wird.

Der Aktivierungsvorgang wurde mit der Brenntemperatur gesteuert, die anderen Bedingungen wurden bei sämtlichen Versuchen gleichgehalten. Die Ermittlung und Einstellung der optimalen Brenntemperatur erfolgt in der ersten Stunde des Aktivierungsversuches mit Hilfe von *Röntgendiffraktometeraufnahmen*. Mit dieser Methode ist es möglich, ohne grossen Aufwand den Karbonatabbau in Funktion der Brenntemperatur zu verfolgen, die entstandene Menge CaO halbquantitativ zu bestimmen und eventuelle Neubildungen zu identifizieren. Mit dem Ende des Kalzit-Abbaues wird der optimale Aktivierungszustand erreicht, der je nach Kiesschlamm bei Temperaturen zwischen 900 °C und 930 °C liegt.

## Zusammensetzung der aktivierten Kiesschlämme

Durch die thermische Behandlung wird die mineralogische Zusammensetzung der Kiesschlämme weitgehend verändert; Karbonate und Tonmineralien werden unter Abspaltung von $CO_2$ bzw. $H_2O$ weitgehend zerstört, und es entstehen, neben CaO, amorphe Phasen sowie mehr oder weniger stabile kristalline Neubildungen. Diese Gemische, in Tabelle 2 charakterisiert, bilden das Ausgangsmaterial für die Mörtelversuche.

Das durch die thermische Behandlung umgesetzte CaO liegt einerseits in mehr oder wenig stabilen kristallinen Neubildungen wie Gehlenit ($2\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$) und $C_2S$ ($2\,CaO \cdot SiO_2$) und anderseits wahrscheinlich in Teilschmelzen und amorphen Verbindungen vor. Interessant ist festzustellen, dass mit zunehmendem Tonmineralienanteil im Rohschlamm das Verhältnis gebundenes CaO / freies CaO im aktivierten Kiesschlamm zunimmt. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Bindung des frei werdenden CaO während dem sehr kurzen Aktivierungsprozess (2–3 Minuten!) hauptsächlich durch Festkörperreaktionen und Teilschmelzen mit Tonmineralien erfolgt.

Nach der thermischen Aktivierung wurde das Granulat gemahlen (Laborprallmühle) und bei 0,1 mm gesiebt. Das Material wurde in dichten Plastiksäcken trocken bis zu den jeweiligen Mörtelversuchen aufbewahrt. Die spezifische Oberfläche und der Siebrückstand dieser Proben sind aus Tabelle 3 ersichtlich.

## Thermisch aktivierter Kiesschlamm als hydraulisches Bindemittel

Anhand von insgesamt 33 Mörtelmischungen (vgl. Tabelle 4) mit den folgenden Materialkomponenten

- Normsand der T.F.B. Wildegg gemäss Norm SIA 215 (1978)
- Schweizerischer Portlandzement (PC)
- Schweizerischer hydraulischer Kalk (HK)
- sieben aktivierte Kiesschlämme (AS), Typ A bis G

*Tabelle 4. Mörtelmischungen*

| Versuch Nr. | Formulierung der Mörtelmischungen Dosierung in kg pro m³ Frischmörtel: Zement PC | Hydr. Kalk HK | Akt. Kiesschlamm AS |
|---|---|---|---|
| 1.1 | 300 | – | – |
| 1.2 | 300 | 50 | – |
| 1.3 | 300 | – | 50 |
| 2.1 | 250 | 100 | – |
| 2.2 | 250 | – | 100 |
| 3.1 | 100 | 250 | – |
| 3.2 | 100 | – | 250 |
| 4.1 | – | 300 | – |
| 4.2 | – | – | 300 |

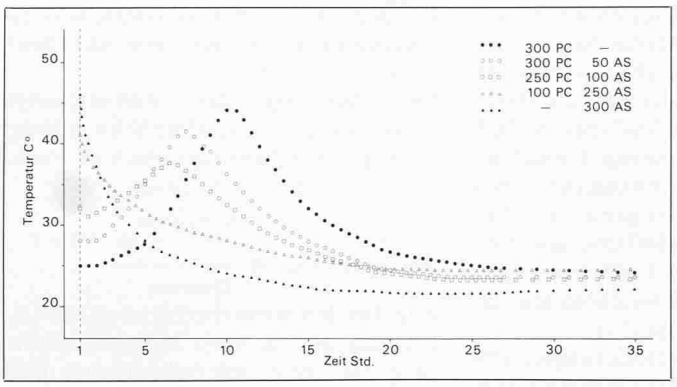



*Bild 2. Wärmeentwicklung während der Hydratation der Bindemittelmischung PC + aktivierter Kiesschlamm (AS Typ B)*

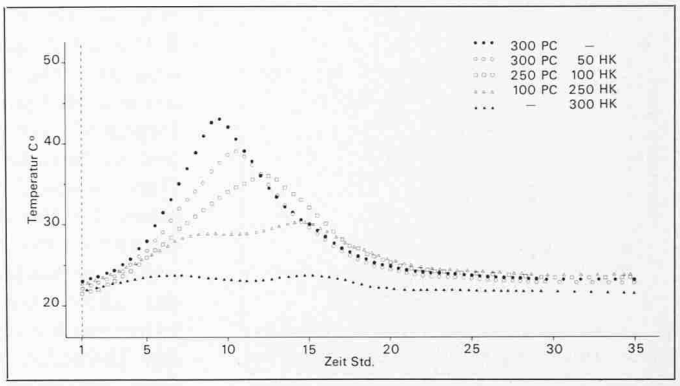



*Bild 3. Wärmeentwicklung während der Hydratation der Bindemittelmischung PC + hydraulischer Kalk (HK)*

wurde die Wirkung von aktiviertem Kiesschlamm als hydraulisches Bindemittel untersucht.

Die Mischungsverhältnisse Sand/Bindemittel, in Gew.-% bezogen auf die Trockenmischungen ausgedrückt, liegen zwischen 86%/14% und 81%/19%.

Die Aufbereitung der Mörtelmischungen sowie die Herstellung und Lagerung erfolgte grundsätzlich nach der Norm SIA 215 «Mineralische Bindemittel», jedoch mit folgenden *Abweichungen:*

- Die Wasserdosierung der verschiedenen Mörtelmischungen wurde nicht konstant gehalten, sondern erfolgte in Funktion einer konstanten, vorgegebenen Konsistenz des Mörtelbreies (50 mm Ausbreitmass);
- Die Lagerung der Mörtelprismen 40×40×160 mm erfolgte in geschlossenen Kesseln bei 20 °C und 100% relativer Feuchtigkeit.

Parallel zu der normalen, atmosphärischen Härtung wurden Mörtelprismen 40×40×160 mm im Laborautoklav gehärtet. Härtezyklus: zwei Stunden Aufheizzeit von 20 °C bis 200 °C (16 at), sechs Stunden Haltezeit bei 200 °C und anschliessend drei Stunden Abkühlzeit bis 20 °C. Mit jeder Mörtelmischung wurden zusätzlich 3-Steinkörper mit Backsteinen der BN-Qualität angefertigt (vgl. Bild 1).

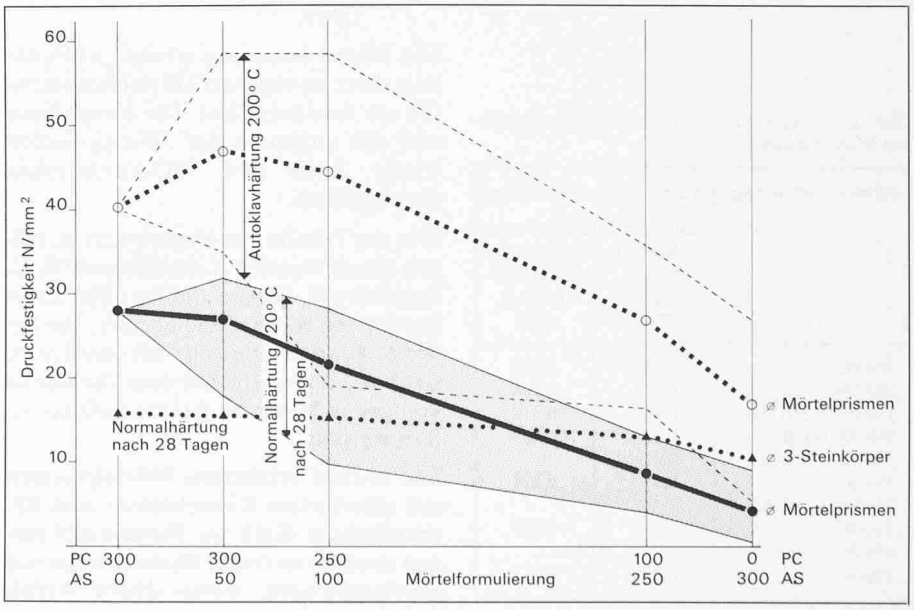
Durch die Zugabe von aktiviertem Schlamm zu Portlandzement werden, bei gleichbleibender Konsistenz, die Eigenschaften des Frischmörtels in Funktion des freien CaO vom aktivierten Schlamm deutlich verändert. So wird mit zunehmendem freiem CaO das W/B-Verhältnis und die Temperatur des Frischmörtels stark erhöht sowie dessen Raumgewicht herabgesetzt. Bei der Zugabe von hydraulischem Kalk ist eine ähnliche Veränderung zwar erkennbar, diese bleibt aber selbst bei höheren HK-Dosierungen schwach. Die Verarbeitbarkeit des Frischmörtels wird durch die Zugabe von AS allgemein verbessert, indem die Mörtelmasse plastischer wird. Negativ zu werten ist allerdings der erhöhte Wasserbedarf der Mörtelmischungen mit AS, was die Festigkeitseigenschaften der Mörtelproben allgemein verschlechtert.

Die Hydratation des Portlandzementes ist durch eine ausgeprägte Wärmeentwicklung gekennzeichnet, die etwa fünf Stunden nach dem Anmachen mit Wasser einsetzt. Sie ist auf die Hydratation der Klinkerphasen des Zementes und ihre progressive Umwandlung in gelförmige CSH-Phasen und $Ca(OH)_2$ (Portlandit) zurückzuführen. Dieser Prozess führt zu einer deutlichen Verfestigung des Zementgefüges und kann als erste und wichtigste Abbindephase bezeichnet werden. Durch die simultane Aufnahme der Wärmeentwicklung von Portlandzement mit zunehmendem Anteil an aktiviertem Schlamm vom Typ B bzw. an hydraulischem Kalk, wurde versucht, den Einfluss dieser zwei Zusätze auf den Abbindevorgang des Zementes abzuklären. Aus den Bildern 2 und 3 ist ersichtlich, dass der Zusatz von aktiviertem Kiesschlamm den Abbindevorgang von PC beschleunigt, im Gegensatz zum eher als Verzögerer wirkenden hydraulischen Kalk.

Aus der *Druckfestigkeitsprüfung* der Mörtelprismen und 3-Steinkörper können folgende Erkenntnisse gezogen werden:

- Die autoklavgehärteten Mörtelprismen zeigen höhere Druckfestigkeiten als die normalerhärteten Prismen. Eine deutliche Parallelität besteht jedoch zwischen diesen zwei Druckfestigkeitsreihen, indem mit zunehmender Dosierung von AS bzw. HK ein beinahe linearer Abfall der Festigkeiten festgestellt werden kann (vgl. Bild 4).
- Die Druckfestigkeit der 3-Steinkörper liegt bei höherer Zementdosierung deutlich unter der Druckfestigkeit der normalgehärteten Mörtelprismen. Da aber mit zunehmender AS- bzw. HK-Dosierung nur ein verhältnismässig kleiner Festigkeitsabfall eintritt, liegen die Druckfestigkeiten der 3-Steinkörper bei hohen AS- bzw. HK-Dosierungen höher als die der normalgehärteten Mörtelprismen (vgl. Bild 4).

*Bild 4. Druckfestigkeit in Abhängigkeit der Zugabe von thermisch aktiviertem Kiesschlamm zu Zement*



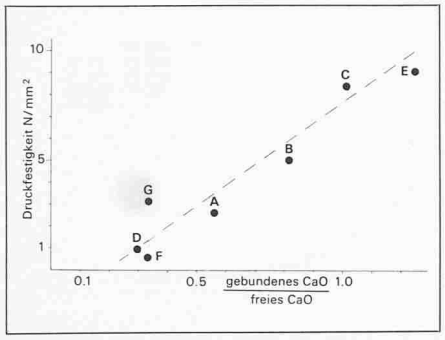



*Bild 5. Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Verhältnisses gebundenes CaO/freies CaO im aktivierten Kiesschlamm (Mörtelprismen mit AS 300)*

*Tabelle 5. Hydraulischer Index der aktivierten Kiesschlämme*

| *Kiesschlamm Typ* | *Hydraulischer Index* $H_i$ | *Freies CaO* | *Verhältnis gebundenes CaO/ freies CaO* |
|---|---|---|---|
| A | −259 | 33,2 | 0,54 |
| B | + 7 | 14,3 | 0,82 |
| C | + 75 | 10,0 | 0,99 |
| D | − 92 | 21,9 | 0,29 |
| E | + 41 | 13,2 | 1,25 |
| F | − 58 | 10,5 | 0,33 |
| G | − 51 | 27,0 | 0,34 |

*Tabelle 6. E-Modul von Mörtelprismen*

| *Mörtelformulierung* | *E-Modul* | |
|---|---|---|
| | *normal erhärtete Mörtelprismen* [N/mm²] | *hydrothermal gehärtete Mörtelprismen* [N/mm²] |
| 300 PC | 34 000 | 23 680 |
| 300 HK | 9 300 | 12 700 |
| 100 PC + 250 HK | 22 500 | 23 980 |
| 300 AS Typ B | 7 700 | 15 170 |
| 100 PC + 250 AS Typ B | 15 800 | 12 690 |

*Tabelle 7. Normalisierte Schwindung von erhärteten Mörtelproben*

| *Mörtelformulierung* | *Normalisierte Schwindung* | |
|---|---|---|
| | *an normal erhärteten Mörtelprismen* [‰] | *an hydrothermal gehärteten Mörtelprismen* [‰] |
| 300 PC | 0,684 | 0,232 |
| 300 HK | 0,873 | 0,360 |
| 100 PC + 250 HK | 0,864 | 0,379 |
| 300 AS Typ B | 0,653 | 0,169 |
| 300 PC + 50 AS Typ B | 0,483 | 0,221 |
| 250 PC + 100 AS Typ B | 0,548 | 0,273 |
| 100 PC + 250 AS Typ B | 0,379 | 0,211 |

- Die aktivierten Kiesschlammtypen B, C und E zeigen bei der Normalhärtung ähnliche Festigkeitseigenschaften wie der hydraulische Kalk (HK). Dagegen liegen die AS-Typen A, D, F und G festigkeitsmässig schlechter. Dabei kann die Abhängigkeit zwischen der Druckfestigkeit der Mörtelprismen mit AS 300 und dem Verhältnis gebundenes CaO/freies CaO der aktivierten Kiesschlämme erkannt werden (vgl. Bild 5).
- Bei kleineren AS-Dosierungen (bis etwa 100 kg/m³ Frischmörtel) zum PC werden allgemein recht gute Festigkeitseigenschaften erzielt, die oft höher liegen als die der Mischungen mit den gleichen HK-Dosierungen.

Als weitere Möglichkeit zur Quantifizierung der hydraulischen Aktivität der thermisch behandelten Kiesschlämme wurde die Bestimmung des *hydraulischen Indexes* ($H_i$) nach *Keil* [5] herangezogen.

Der hydraulische Index ($H_i$) wird nach der folgenden Gleichung bestimmt:

$$H_i = \frac{D_{28}\begin{pmatrix}70\%\ PC\\30\%\ AS\end{pmatrix} - D_{28}\begin{pmatrix}70\%\ PC\\30\%\ QM\end{pmatrix}}{D_{28}\begin{pmatrix}100\%\ PC\end{pmatrix} - D_{28}\begin{pmatrix}70\%\ PC\\30\%\ QM\end{pmatrix}} \cdot 100$$

$D_{28}$ = Druckfestigkeit Mörtelprismen nach 28 Tagen
PC = Portlandzement
AS = thermisch aktivierter Kiesschlamm
QM = Quarzmehl < 0,1 mm (Blaine: 4100 cm²/g)

Danach ist der $H_i$ von 100% PC gleich 100%, derjenige der Mischung 70% PC + 30% Quarzmehl gleich 0%. Positive $H_i$ deuten auf eine hydraulische Aktivität des zum Zement zugegebenen Stoffes.

Hergestellt wurden Mörtelprismen 4×4×16 cm mit der folgenden Zusammensetzung:

2700 g Normsand TFB
900 g Bindemittelmischung (PC bzw. PC + AS und PC + QM)

Die Wasserdosierung erfolgte in Funktion einer konstanten Mörtelkonsistenz (50 cm Ausbreitmass). Die Herstellung und die Lagerung der Mörtelprismen wurde nach den ISO-Vorschriften durchgeführt.

Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, zeigen die aktivierten Kiesschlämme B, C, E positive $H_i$-Werte, und bei allen anderen Proben waren diese negativ. Die $H_i$-Werte können einerseits mit dem freien CaO und anderseits mit dem Verhältnis von gebundenem zu freiem CaO korreliert werden.

Die normal erhärteten Mörtelprismen mit aktiviertem Kiesschlamm oder hydraulischem Kalk als Bindemittel zeigen *deutlich tiefere E-Moduli* als die mit Portlandzement, wobei dieser Abfall bei den Proben mit aktiviertem Kiesschlamm etwas ausgeprägter ist (Tabelle 6).

Die Messung der *normalisierten Schwindung* (= reversible Schwindung) an erhärteten Mörtelprismen in Funktion der relativen Feuchtigkeit:

100% r. F. (Wassersättigung) $\xrightarrow{\text{Schwindung}}$ 45% r. F.
100% r. F. (Wassersättigung) $\xleftarrow{\text{Quellung}}$ 45% r. F.

zeigt bei den normal erhärteten Mörtelprismen und je nach Mörtelformulierung ein recht unterschiedliches Bild (Tabelle 7). Während die Mörtelprismen mit hydraulischem Kalk (HK) deutlich höhere Schwindungen zeigen als die Mörtelkörper mit reinem Portlandzement, bewirkt die Zugabe von aktiviertem Kiesschlamm (Typ B), im Vergleich zur reinen PC-Formulierung, eine reduzierte Schwindung. Hydrothermal gehärtete Mörtelprismen besitzen gegenüber normal erhärteten Proben deutlich niedrigere Schwindungen, was allgemein bekannt ist.

Die *mineralogische Zusammensetzung* der erhärteten Mörtel wurde mit Hilfe der *Differential-Thermoanalyse* (DTA) und der *Röntgendiffraktometrie* (XR) untersucht. Stark dominierend sind die Mineralien aus der Sandkomponente (Quarz, Kalzit, Dolomit, Feldspäte und Glimmer). Die Bindemasse der normal erhärteten Proben besteht zur Hauptsache aus gelartigen, mineralogisch schlecht definierbaren Verbindungen und teilweise $Ca(OH)_2$, die der hydrothermal gehärteten Mörtelproben aus 11 Å Tobermorit und semi-kristallinen CSH-Phasen.

Das *Mikrogefüge* der reinen Zementpaste (Bild 6) ist ziemlich dicht und gekennzeichnet durch eine sehr feine, diffuse Mikroporosität sowie durch eingebettete plattige Portlandit-Kristallite ($Ca(OH)_2$). Die Paste aus reinem hydraulischem Kalk zeigt eine etwas gröbere Mikroporosität und relativ viele, eher rundliche Körner (Quarz und Kalzit). Der hydratisierte Kiesschlamm Typ B hat eine relativ hohe Mikroporosität und ist durch das Vorherrschen von feinkörnigen, schwach verkitteten Aggregaten charakterisiert. Die Dünnschliffuntersuchung zeigt, dass alle Bindemittelpasten Mikrorisse aufweisen, die teilweise durchgehend, teilweise aber nur einige Millimeter lang sind. Die Anzahl Rundporen wird mit der Zugabe von HK oder AS vom Typ B allgemein erhöht.

## Klassifikation als Bindemittel

Im Unterschied zum Portlandzement, der als reines, homogenes Bindemittel definiert werden kann, stellen sowohl

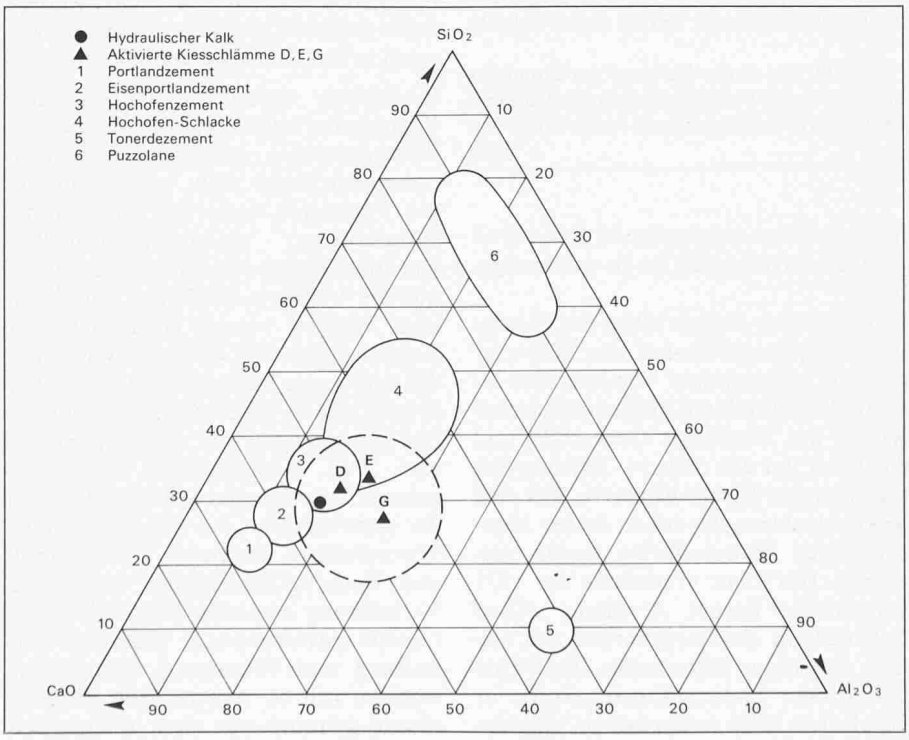
*Bild 6. Mikrogefüge von erhärteten Pasten aus PC, HK und AS Typ B. Aufnahme mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM). Vergrösserung 1400 ×*
*Links: Portlandzement PC. Mitte: Hydraulischer Kalk HK. Rechts: Aktivierter Kiesschlamm As Typ B*

*Tabelle 8. Menge und Zusammensetzung der Bindemasse am Beispiel von hydraulischem Kalk und drei aktivierten Kiesschlämmen (E, G und D)*

| | HK | aktivierte Kiesschlämme | | |
|---|---|---|---|---|
| | [Gew.-%] | Typ E [Gew.-%] | Typ G [Gew.-%] | Typ D [Gew.-%] |
| lösliches $SiO_2$* | 11,6 | 11,9 | 4,6 | 3,5 |
| umgesetztes CaO | 22,1 | 16,3 | 8,4 | 5,4 |
| $Al_2O_3$ aus Tonmineralien | ca. 8 | ca. 7,5 | ca. 5 | ca. 2 |
| Bindemasse | 41,7 | 35,7 | 18,0 | 10,9 |
| Umrechnung auf 100% Bindemasse | | | | |
| $SiO_2$ | 27,8 | 33,4 | 25,7 | 32,4 |
| CaO | 53,0 | 45,6 | 46,5 | 49,2 |
| $Al_2O_3$ | 19,2 | 21,0 | 27,8 | 18,4 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

* nach Florentin [6]

*Bild 7. Zusammensetzung der Bindemasse von hydraulischem Kalk und den aktivierten Kiesschlämmen D, E und G im Rankin-Diagramm (nach Krenkler [7], modifiziert)*




der hydraulische Kalk wie die aktivierten Kiesschlämme heterogene Gemische dar. Sie enthalten neben der eigentlichen hydraulischen Bindemasse noch erhebliche Anteile an nicht hydraulischen Komponenten, wie Kalzit und Quarz beim hydraulischen Kalk, CaO, Quarz und Feldspäte bei den aktivierten Kiesschlämmen, die z.T. als Filler qualifiziert werden können. Von Interesse für eine Klassifikation der aktivierten Kiesschlämme als Bindemittel sind vor allem Menge und Zusammensetzung der Bindemasse. Diese Merkmale können aus der Menge löslichem $SiO_2$, umgesetztem CaO und $Al_2O_3$ aus den Tonmineralien abgeleitet werden (Tabelle 8).

Daraus ist ersichtlich, dass die aktivierten Kiesschlämme recht unterschiedliche Bindemassenanteile besitzen, die einen direkten Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften der entsprechenden Mörtel haben. Anderseits ergibt die Umrechnung auf 100% Bindemasse die approximative Zusammensetzung des hydraulischen Anteils (Tabelle 8), die im *Rankin-Diagramm* mit anderen hydraulischen Bindemitteln verglichen werden kann (Bild 7). Auffallend dabei ist, dass die hier dargestellten aktivierten Kiesschlammtypen von der Bindemasse her nahe beim hydraulischen Kalk liegen.

## Schlussbetrachtungen

Aus Kiesschlamm kann nach Entwässerung durch eine kurze thermische Einwirkung bei etwa 900 °C ein hydraulisches Bindemittel ähnlich dem gebräuchlichen hydraulischen Kalk (HK) gewonnen werden (Norm SIA 215 [8]). Voraussetzung dazu ist ein genügender Ton- und Kalkgehalt, was nicht bei allen Kiesschlämmen gleichermassen zutrifft. Von den sieben untersuchten re-

präsentativen Kiesschlammtypen der Schweiz zeigen deren drei eine ausgeprägte Eignung (Schlammtypen B, C, E).

Es kommen dabei die gleichen Anwendungsgebiete in Frage wie beim HK. In Kombination mit Portlandzement (PC) ist HK als Mörtelbindemittel gefragt. So werden beispielsweise in der Norm SIA 242 [9] optimale Mörtelmischungen mit HK für Zementmörtelanwurf, Grund- und Deckputze im Hochbau vorgeschlagen. In den Empfehlungen der AG Kalk, Zürich, und der Technischen Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie, Wildegg, wird speziell auf die Bedeutung von HK als Hauptbindemittel im Grundputz sowie auch als Zusatz für Sichtbeton hingewiesen. In der Norm SIA 177 [10] wird die Verwendung von verlängertem Mörtel auf der Basis von 250 kg HK+100 kg PC je Kubikmeter fertigen Mörtel im Mauerwerkbau geregelt. Verlängerte Mörtel sind weniger druckfest, wirken aber spannungsausgleichend und verbessern geringfügig die Wärmeisolation (Norm SIA 177, Ziff. 4 - 222 - 3). Bekannt ist ferner auch, dass verlängerte Mörtel eine vorzügliche Verarbeitbarkeit zeigen. Mit thermisch aktiviertem Kiesschlamm ist diese Erscheinung ausgeprägt.

Zu bedenken gilt es aber, dass mit thermisch aktiviertem Kiesschlamm - so sehr die Eigenschaften interessant sind - weder eine Marktlücke abgedeckt noch ein neues Bedürfnis im Bindemittelsektor geschaffen wird. Der Schwerpunkt liegt hier auf der möglichen Verwertung eines unerwünschten Nebenproduktes der Kiesgewinnung. Die Kiesschlammverwertung nach dem vorliegenden Konzept bleibt deshalb eine Frage von unternehmerischen Überlegungen, die bezüglich Wirtschaftlichkeit und Notwendigkeit im konkreten Fall zu beantworten sein wird.

Adressen der Verfasser: Prof. Dr. *Tj. Peters*, Min.-Petr. Institut der Universität, Baltzerstr. 1, 3012 Bern, Dr. *R. Iberg*, Dr. *Th. Mumenthaler*, Zürcher Ziegeleien, Postfach, 8021 Zürich.

**Literaturverzeichnis**

[1] *Peters, Tj., Iberg, R., Mumenthaler, Th.* (1982): «Kiesschlamm als potentieller Rohstoff?». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 19, 385-390
[2] BRD-Patent Nr. 1 646 416 (1967)
CH-Patent Nr. 495 299 (1968)
BRD-Patent Nr. 2 122 201 (1971)
CH-Patent Nr. 544 727 (1971)
[3] *Haller, P., Kollbrunner, C.F.* und *Iberg, R.* (1969): «Aktivierter Ton (Röstton-Verfahren)». Institut für bauwissenschaftliche Forschung, Heft 7
[4] *Mumenthaler, Th.* (1979): «Zusammensetzung und Verwertbarkeit von schweizerischen Kiesschlämmen im hydrothermalen Härtungsprozess». Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung 58
[5] *Keil, F.* (1971): «Zement». Springer Verlag, Berlin
[6] Florentin, O. (1926). Annales de Chimie analytique et de Chimie appliquée. 8, 11, 321
[7] *Krenkler, K.* (1980): «Chemie des Bauwesens». Springer Verlag, Berlin
[8] Norm SIA 215 (1978) «Mineralische Bindemittel»
[9] Norm SIA 242 (1978) «Verputzarbeiten und Gipserarbeiten»
[10] Norm SIA 177 (1980) «Mauerwerk»

# Restauration und Erweiterung von St. Johannsen BE

**Im Herbst des vergangenen Jahres wurden die Erweiterungs- und Restaurierungsarbeiten in St. Johannsen nach achtjähriger Bauzeit abgeschlossen. Die ehemals bedeutende Benediktinerabtei liegt am Südwestende des Bielersees zwischen Erlach und Le Landeron. Nach der Säkularisation im Jahre 1529 wurde das Kloster als bernischer Landvogteisitz starken baulichen Veränderungen unterworfen. 1846 gelangte es in Privatbesitz; seine Räume wurden vorwiegend industriell genutzt. Im Jahre 1883 kaufte der Staat Bern die Anlage und errichtete darin eine Korrektionsanstalt für Männer.**
**In der Anstalt, wie sie sich heute zeigt, wurde versucht, ein neues Konzept des humanen Massnahmenvollzugs zu verwirklichen. Den Architekten stellte sich gleichzeitig die Aufgabe, wertvolle historische Bausubstanz in sinnvollen Bezügen einer zeitgemässen Ausdrucksweise gegenüberzustellen.** *B.O.*

## Überblick

St. Johannsen war vom 11. bis 14. Jahrhundert ein bedeutendes Benediktinerkloster. Der Turm der weitherum bekannten dreischiffigen Kirche mit Querhaus und Kreuzgang ist Ende des 19. Jahrhunderts eingestürzt. Der Staat hat die Anlage 1883 erworben und sie in der Folge als Strafanstalt für Männer und Frauen genutzt. Vor der Gesamtsanierung waren in der Arbeitsanstalt etwa 100 Männer untergebracht. Auf der Domäne, welche etwa 120 ha Land umfasst, standen rund 45 Gebäude in bunter Mischung: Historisch wertvolle Bauten wurden im Verlaufe der letzten hundert Jahre entsprechend dem jeweiligen Bedürfnis kritiklos an- oder umgebaut.

Den Kern der Anlage bildet das ehemalige Benediktinerkloster. Um 1970 wurde dank weitsichtiger Vertreter der öffentlichen Hand und kulturhistorischer Kreise das baufällige Querschiff und das Chor der aus dem 14. Jahrhundert stammenden Kirche erneuert. Auf eine Rekonstruktion des schon früher abgebrochenen Hauptschiffes wurde verzichtet. Die Pläne erarbeitete der 1971 verstorbene Berner Architekt *Alfred Schaetzle* in Zusammenarbeit mit seinem damaligen Mitarbeiter, *Felix Holzer*. In der Bauausführung wurde er durch den 1980 verstorbenen Münsinger Architekten *Walter Streit* unterstützt, welcher seinerseits mit dem kantonalen Hochbauamt und der kantonalen Denkmalpflege zusammenarbeitete.

Seit 1961 wurden zum Teil parallel zu den Bauarbeiten intensive archäologische Grabungen durchgeführt. Deren Ergebnisse haben die Projektierung massgeblich beeinflusst und werden heute in einem speziell errichteten Museum in St. Johannsen gezeigt.

Betrieblich waren die Unterkunfts-, Wirtschafts- und Werkstattgebäude den Anforderungen eines modernen Massnahmenvollzugs nicht mehr gewachsen. Technisch waren sie, wie auch die Infrastruktur, erneuerungsbedürftig. Nachdem in den 60er Jahren die Kirche und die landwirtschaftlichen Bauten saniert worden waren, beauftragte der Regierungsrat des Kantons Bern 1972 das kantonale Hochbauamt mit einer Projektierung, deren Ziel die Sanierung und Erweiterung des Anstaltsbereichs war. Das entsprechende Raumprogramm verschob den Schwerpunkt von der Arbeitsanstalt auf Spezialbereiche: Therapieheim, Heilstätte für Alkohol- und Rauschgiftabhängige, halboffene Verwahrung ergänzen heute die traditionelle Arbeitsanstalt. Während Verwaltung und Versorgung zentralisiert wurden, galt es, Arbeits- und Freizeiträume getrennt von den in Gruppen