

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 102 (1984)  
**Heft:** 43

**Artikel:** Zementverfestigung von schwach- und mittelaktivem Abfall aus LWR-Kernkraftwerken  
**Autor:** Wiedemann, Karl-Heinz / Laske, Dietrich  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-75553>

### **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:** 24.01.2026

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

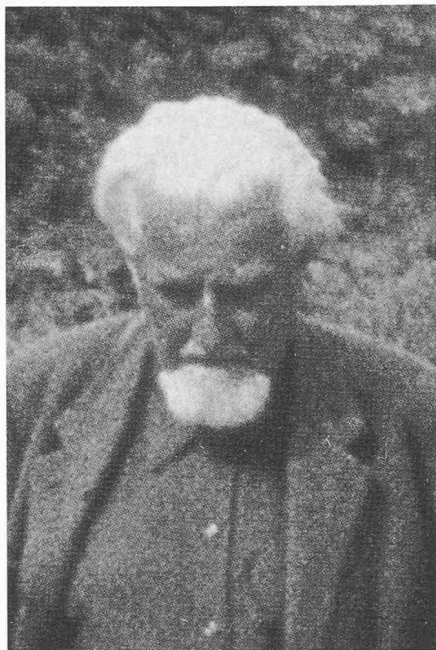


Bild 5. Konrad Lorenz (geb. 1903). Begründer der Tierpsychologie, heute Verhaltensforschung genannt. Er erkannte, dass unsere Denkfähigkeit eine Anpassung an die Natur darstellt. Wir denken logisch, weil sich die Natur an diese «Spielregeln» hält (Bild «Das Tier»)

denselben Gründen, aus denen die Form des Pferdehufes auf den Steppenboden und die Fischflosse ins Wasser passt». Deshalb ist die Natur für uns begreifbar.

Die Kantschen Kategorien sind a priori in uns vorhanden (von unserer Art erlernt), weil sich auch die Natur an sie hält, und das gleiche dürfte auch für die Platonsche Ideenlehre zutreffen. Dieses neue Wissen von Lorenz stellt eine naturwissenschaftliche Antwort auf eine

ursprünglich philosophische Frage dar. Jene vorstehend zitierten Worte von Einstein finden damit teilweise eine Antwort. Begreifbar ist die Natur für uns, weil wir «angepasst denken», warum die Natur sich aber an die Logik hält, bleibt selbstverständlich unbegreifbar.

Zwischen dem Sehen und dem logischen Denken besteht eine ausgeprägte Analogie: Das Auge entstand, weil es in unserer Umwelt elektromagnetische Wellen gibt; unsere Fähigkeit zum logischen Denken entstand, weil sich die Natur an die Logik hält. Auch unsere Denkfähigkeit vermittelt uns das trügerische Gefühl der Unfehlbarkeit. Die Suche nach einer zusammenfassenden Theorie aller Elementarkräfte (Stichwort: Supergravitation) ist getragen vom Glauben, dass so etwas in Reichweite menschlicher Logik sei. Wenn das gelingen sollte, so wäre es zunächst einmal mehr ein Grund zum Staunen.

Im Sinne der Evolution war unsere Denkfähigkeit eine Anpassung, zuständig (mindestens) in der «Welt der mittleren Dimensionen» (mm bis km), in denen sich unser Leben abspielt. Dass sie von  $10^{-15}$  m (den Abständen in den

Überarbeitete Fassung des Vortrags vom 29. März 1984 vor dem Technischen Verein Winterthur und der SIA-Sektion Winterthur, der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Winterthur NGW, der STV-Sektion Winterthur und der Schweizerischen Gesellschaft pro Technorama.

Atomkernen) bis zu 10 Mio. Lichtjahren (der Ausdehnung des Universums) zuständig ist (oder zumindest scheint), muss erstaunen. Die Unfehlbarkeit unserer Logik ist aber genauso fraglich wie die Objektivität unserer Augen.

### Grenzen der Logik

Die Suche nach der Supergravitation ist der Versuch, die Grenze des logisch Erreichbaren (wie weit lässt sich die Natur entzaubern?) weiter hinauszuschieben. Die Situation ist vielleicht den Weltrekorden im Sport vergleichbar (z. B. Hochsprung: Welche Höhe liegt noch für Spitzensportler in Reichweite des menschlichen Körpers?). In beiden Fällen ist aber die Existenz einer Grenze evident. Die Logik kann nie absolute Aussagen machen, sie kann nur verknüpfen. Das hatte ja schon Pascal vor mehr als 300 Jahren erkannt und als ein höchstes Ziel der Philosophie gefordert, diese sehr begrenzte Aussagekraft der Logik bewusst werden zu lassen.

Die Physik macht diese Grenze besonders deutlich, ist sie doch schliesslich lediglich die Kunst, sehr viele kleine Rätsel (die Phänomene) logisch zwingend auf wenige grosse Rätsel (die Theorien) zurückzuführen (zu verknüpfen). Das nächste grosse Rätsel wäre dann eben die Supergravitation oder die Frage, was vor dem Urknall war.

Die Philosophie will mehr, sie muss aber gerade deshalb immer Frage bleiben.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. sc. nat. P. Cotti, im Gässli 37, 8162 Niedersteinmaur.

## Zementverfestigung von schwach- und mittelaktivem Abfall aus LWR-Kernkraftwerken

Von Karl-Heinz Wiedemann und Dietrich Laske, Würenlingen

Seit 1977 läuft am Eidg. Institut für Reaktorforschung in Würenlingen ein Entwicklungsprogramm der NAGRA zur Zementverfestigung von schwach- und mittelaktiven Abfällen aus schweizerischen Kernkraftwerken. Es sollten geeignete Mischungen und Verfahren für zwischen- und endlagerfähige Verfestigungen mit Zement gefunden werden.

Aus den umfangreichen Versuchsreihen ergaben sich Verfestigungen mit Druckfestigkeiten von 10 bis 50 N/mm<sup>2</sup>. Die Nuklidauslaugraten sind mehr als hundertmal kleiner als der geforderte Richtwert von  $10^{-3}$  g/cm<sup>2</sup>·Tag.

### Einleitung

Radioaktive Abfälle müssen für die Zwischen- und Endlagerung so konditioniert werden, dass eine Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Biosphäre verhindert oder genügend verzögert

wird. Dazu werden die Abfälle mit Hilfe eines Matrixmaterials in eine feste Form gebracht. Diese Abfallmatrix stellt im Sicherheitsbarrierenkonzept die erste Barriere dar.

Als Matrixmaterialien werden heute technisch – in der Reihenfolge zuneh-

mender Strahlen- und thermischer Beständigkeit – Bitumen, Kunststoffe (ausgewählte Polymerisate), Zement und Glas eingesetzt. Schwach- und mittelaktive Abfälle werden in Bitumen, Kunststoffen und Zement verfestigt, während für hochradioaktive Abfälle Gläser [1] geeignet sind.

Im Auftrag und mit finanzieller als auch personeller Unterstützung der NAGRA wurden am EIR umfangreiche Versuchsreihen durchgeführt, um anwendungsbereite optimale Verfahren und Mischungen zur Zementverfestigung von schwach- und mittelaktiven Abfällen aus schweizerischen Kernkraftwerken zu entwickeln.

### Anforderungen an Zementverfestigungen

Aus wirtschaftlichen Gründen soll in eine Abfallmatrix möglichst viel Abfall

eingbracht werden, gleichzeitig aber fordern Sicherheitsgründe eine hinreichende mechanische Festigkeit sowie eine möglichst gute Beständigkeit gegen Wasser (je nach Lagerart auch sulfathaltiges) und gegen die Auslaugung der Radionuklide.

Eine weitere Anforderung an die Abfallmatrix ist die Beständigkeit gegen ionisierende Strahlung, die vom eingebrachten Aktivitätsinventar ausgeht. Die Strahlendosen, die aus den Aktivitäten der schwach- und mittelaktiven Abfälle in der Matrix resultieren können, sind jedoch zu gering, um die Festigkeit von Zement zu beeinträchtigen.

Damit die Abfallmatrix allfällige Gefahren beim Transport, die Belastungen durch die Stapelung im Zwischenlager und den Gebirgsdruck im Endlager unbeschadet übersteht, muss sie eine ausreichende mechanische Festigkeit aufweisen.

Die Festigkeit einer Zementmatrix hängt von den aus der Bauindustrie bekannten Bedingungen ab, wie dem Wasser/Zement-Verhältnis beim Anrühren der Mischung, der Art der Verdichtung, dem Porenvolumen der erhärteten Matrix, der Temperatur und dem Feuchtigkeitsumsatz mit der Umgebung während der Erhärtung und der Erhärtungszeit.

Aber auch Mischungszuschläge können die Festigkeit beeinflussen. So vermindern z. B. KKW-Abfälle in Form von Filterschlamm oder gewisse Zuschläge, welche die Nuklidenauslaugbeständigkeit der Matrix verbessern, je nach Art und Menge die Festigkeit der Matrix unterschiedlich stark. Enthält die Mischung mehrere festigkeitsvermindernde Zuschläge, so wird die Matrixfestigkeit häufig von der Komponente mit der am stärksten festigkeitsvermindernden Wirkung bestimmt. Natürlich kann man die durch den eingebrachten KKW-Abfall bedingten tiefen Festigkeitswerte durch festigkeitssteigernde Zuschlagsstoffe wieder anheben, oft aber nur verbunden mit einer Verringerung des Abfallanteils in der Matrix.

Das bedeutet, dass zur Entwicklung einer optimalen Verfestigung eine sehr grosse Zahl von Versuchsmischungen hergestellt und geprüft werden muss – und immer sind dabei auch noch die übrigen Anforderungen an die Matrix zu berücksichtigen.

Eine Abfallmatrix soll auch *wasserbeständig* sein, d. h., in ruhendem und in strömendem Wasser soll sie keine Festigkeitseinbusse und keine Volumenänderung erleiden, und es sollen sich keine Risse bilden.

In Gipsgestein bilden sich sulfathaltige Wässer, die bei Zementen mit hohem Gehalt an Tricalciumaluminat ein Treiben verursachen können; es bildet sich eine voluminösere Phase, die die Matrix unter Umständen sprengen kann. Daher wird eine *Sulfatbeständigkeit* der Matrix gefordert, die u. a. beeinflusst wird von

- der Art und den Anteilen der Mischungskomponenten,
- dem Wasser/Zement-Verhältnis beim Anrühren der Mischung,
- der Porosität der Matrix.

Schliesslich soll die Abfallmatrix bei Kontakt mit Wasser beständig sein gegen *Auslaugung* von radioaktiven Stoffen. Die nuklidspezifische Auslaugrate über der Zeit ist nach ISO/DIS 6961 definiert als

$$R_L = \frac{a_i \cdot G}{A_0 \cdot F \cdot t} \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{d}} \right],$$

mit der aus dem Probekörper während der Zeit  $t$  ausgelaugten Aktivität  $a_i$  in der Flüssigkeit, der Anfangsaktivität der Probe  $A_0$ , dem Gewicht des Probekörpers  $G$  [g], der dem Auslaugmedium ausgesetzten geometrischen Oberfläche des Probekörpers  $F$  [cm<sup>2</sup>] und der Dauer des Auslaugversuches  $t$  [Tage].

Für Zwischenlager fordert die Aufsichtsbehörde, dass «die über 150 Tage gemittelte Auslaugrate kleiner als 10<sup>-3</sup> g/cm<sup>2</sup> · Tag sein soll» [2]. Für Endlager werden noch tiefere Werte angestrebt. Diese sind zwar noch nicht zahlenmässig vorgegeben, doch wird als eines der «Schutzziele für die Endlagerung radioaktiver Abfälle» definiert: «Radionuklide, die als Folge von realistischen anzunehmenden Vorgängen und Ereignissen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen, sollen zu keiner Zeit zu Individualdosen führen, die 10 mrem pro Jahr überschreiten» [3].

## Abfallarten

Die wichtigsten schwach- und mittelaktiven Abfallarten aus LWR-Kraftwerken in der Schweiz sind Lösungen und

Konzentrate, die zum Teil stark borathaltig sind, sowie Ionenaustauscherharze in verschiedenen Formen.

Aus den verschiedenen Kreisläufen eines Druckwasserreaktors fallen z. B. schwach- bis mittelaktive *borsäurehaltige Lösungen* an, die bis zu einer Borsäurekonzentration von 16 Masseprozent eingedampft werden. Die Aktivität der Konzentrate liegt im Bereich (0,37 bis 3,7) · 10<sup>7</sup> Bq/l (0,1 bis 1 mCi/l), im Maximum bei etwa 7,5 · 10<sup>8</sup> Bq/l (etwa 20 mCi/l). Etwa 90 Prozent der Gesamtkonzentration stammt von den kurzlebigen Nukliden Cs-137, Cs-134, Co-60 und Co-58 mit Halbwertszeiten von 71 Tagen (Co-58) bis 30 Jahren (Cs-137).

Diese Konzentrate werden neutralisiert und mit Zement in 200-l-Fässern verfestigt.

Da die Borate in Zement Calciummetaborat ausfällen und damit den Abbindevorgang verzögern, muss der Zementmischung eine entsprechende Menge Calciumhydroxid (z. B. gelöschter Kalk) zugesetzt werden, damit nach der Boratausfällung noch genügend Calciumhydroxid für die Abbindereaktion des Zementes vorhanden ist.

Spezielle *Kunstharze* in Pulver- oder Kugelform werden als Ionenaustauscher verwendet, um das Wasser in den verschiedenen Kreisläufen zu reinigen. Dabei nehmen die Harzteilechen u. a. Radionuklide auf. Die Aktivität der gebrauchten Harze kann im Bereich 3,7 · 10<sup>6</sup> bis 1,5 · 10<sup>10</sup> Bq/l (0,1 bis 400 mCi/l) liegen, bezogen auf das Schüttvolumen. Mehr als 90 Prozent der Gesamtkonzentration stammt auch hier von den kurzlebigen Nukliden Cs-137, Cs-134 und Co-60, aber auch von einer geringeren Menge Sr-90 (Halbwertszeit 28,5 Jahre).

Für die Verfestigungsversuche wurden radioaktiv kontaminierte Harze in gequollenem Zustand mit 50 Prozent Feuchtigkeit aus schweizerischen Kernkraftwerken verwendet.

Das Problem bei der Zementverfestigung von Ionenaustauscherharzen besteht einmal darin, dass dieses Material sich mit dem Zement nicht verbindet

Tabelle 1. Vergleich anwendungsbereiter Zementverfestigungen für schwach- und mittelaktive Abfälle aus Leichtwasserreaktoren

Charakterisierung der Verfestigung	Abfallart	Borsäurekonzentrat	Ionenaustauscherharze (Trockensubstanz)	
			Pulverharz	Kugelharz
Abfallmenge in der Matrix	[Masse %]	33	13	16
Druckfestigkeit	[N/mm <sup>2</sup> ]	50	30	30
Auslaugrate in Gipswasser	[g/cm <sup>2</sup> · d]			
Cs-137		6 · 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	1,5 · 10 <sup>-6</sup>
Sr-90				2 · 10 <sup>-6</sup>
Co-60		2 · 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	8 · 10 <sup>-9</sup>

und daher die Teilchen in der Matrix wie festigkeitsvermindernde Poren oder Fremdkörper wirken, zum anderen darin, dass diese Teilchen je nach Wassergehalt quellen oder schrumpfen können.

## Mischungsbestandteile

Für die Verfestigungen wurden handelsübliche technische Produkte verwendet.

### Zemente

Bei der Aushärtung von Zementen entstehen Minerale, die auch Radionuklide zu sorbieren vermögen, so dass schon aus diesem Grunde dieses hydraulische Bindemittel für eine Abfallverfestigung attraktiv ist.

Neben Portlandzement nach DIN 1164, wie er in der Bauindustrie üblich ist, wurde eine Reihe von Zementen mit erhöhter Sulfatbeständigkeit wie Spezial-Portlandzemente, Hochofen- und Tonerdezemente für die Versuchsmischungen verwendet. Ein Spezial-Portlandzement erwies sich als besonders geeignet wegen seiner guten mechanischen Eigenschaften und seiner hohen Beständigkeit gegen Sulfatlösung infolge seines geringen Gehaltes an Tricalciumaluminat.

### Zuschlagstoffe

Bei den Verfestigungsversuchen wurden neben Sand noch Stoffe verwendet, die nicht Betonzuschlagstoffe nach DIN 4226 sind, sondern im Hinblick auf die radioaktiven Abfälle ausgewählt wurden.

So wurden wie schon angedeutet bei der Verfestigung von borsäurehaltigen Konzentraten zur Boratfällung mit Calciumhydroxid verschiedene Baukalke nach DIN 1060 verwendet (Weisskalk).

Um die Nuklidaustragrate zu verringern, wurden Stoffe mit gutem Sorptionsvermögen für Cs-137 und Sr-90 zugeschlagen, z.B. Trass, Tuff, Steinkohlenflugasche, Tone und eine Reihe von Tonmineralien. Tone erwiesen sich allerdings insofern als unbrauchbar, als sie zwar die Auslaugbeständigkeit einer Zementmatrix verbessern, gleichzeitig aber ihre Druckfestigkeit stark vermindern.

### Zusatzmittel

Schliesslich wurden in die Versuche noch Betonzusatzmittel einbezogen, mit denen die Verarbeitbarkeit (z.B. Pumpbarkeit) sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Mischungen und der erhärteten Matrix positiv beeinflusst werden können.

## Herstellung von Mischungen

Die Versuchsmischungen wurden in der Regel im Labor- oder im halbtechnischen Massstab angesetzt, wofür Labor- und Handmischmaschinen verwendet wurden.

Im Hinblick auf eine praktische Anwendung im *technischen Massstab* wurden zwei verschiedene Mischverfahren angewendet:

### - Mischen im Abfallfass

Die Mischungskomponenten werden direkt im 200-l-Abfallfass gemischt. Dazu stand die Fassmischanlage im Kernkraftwerk Beznau mit einem Zwei-Wellen-Planetenrührwerk mit gegenläufigen Rührwerken zur Verfügung;

### - Kontinuierliches Mischen

Mit einem Zwei-Wellen-Schneckenmischer (Mischervolumen 20 l, Leistung 200 bis 300 l/h) werden die Mischungskomponenten kontinuierlich in den Mischer dosiert, in dem sie gemischt und zum Austrag gefördert werden. Die homogene Mischung fällt direkt in ein Abfallfass beliebiger Grösse.

## Eigenschaftsprüfungen

Sowohl bei den Labor- als auch bei den technischen, praxisbezogenen Versuchen wurden den Mischungen Proben entnommen zur Herstellung von Probekörpern in entsprechenden Formen. Bei den technischen Versuchen wurden ausserdem auch aus den erstarrten Blöcken Probekörper herausgearbeitet.

Von jeder Versuchsmischung wurde eine ausreichende Anzahl Proben hergestellt, um bei den verschiedenen Eigenschaftsprüfungen jeweils aus mehreren Proben einen zuverlässigen Durchschnittswert bestimmen zu können.

### Festigkeit

Wie in der Bauindustrie üblich, wurden die Biegezugfestigkeit und vor allem die Druckfestigkeit von Probekörpern nach DIN 1164, Teil 7, und SIA-Norm 162 bestimmt, um die verschiedenen Verfestigungen miteinander vergleichen zu können.

### Wasserbeständigkeit

Da es bisher keine genormte Methode zur Prüfung der Wasserbeständigkeit einer Zementmatrix gibt, wurde ein Prüfverfahren entwickelt. Neben der visuellen Untersuchung auf Risse dient als wichtigstes Kriterium die Druckfestigkeit von Probekörpern nach bis zu

zweijähriger Lagerung in demineralisiertem Wasser mit Wasserwechseln nach bestimmten Zeiten. Eine Matrix gilt als wasserbeständig, wenn die Druckfestigkeit nach der Lagerung in Wasser mindestens so gross ist wie jene von gleich alten Proben ohne Lagerung in Wasser. Sinkt die Druckfestigkeit unter 90 Prozent ab, gilt die Matrix nicht mehr als wasserbeständig.

### Sulfatbeständigkeit

Zuverlässige Aussagen über die Sulfatbeständigkeit erhält man nur in Langzeittests über mindestens zehn Jahre. Daher wurde ein Schnellprüfverfahren angewendet, bei dem Probekörper bis zu einem Jahr bei Raumtemperatur in einer zehnprozentigen Natriumsulfatlösung gelagert wurden. Nach der Lagerung wurden die Probekörper visuell und auf ihre Druckfestigkeit untersucht wie bei der Wasserbeständigkeitsprüfung.

Diese Methode ist gegenüber einem Langzeitversuch unter realistischen Bedingungen naturgemäss mit ähnlichen Nachteilen behaftet wie alle anderen «zeitraffenden» Prüfmethoden. Für die Optimierung von Verfestigungsmischungen liefert die normierte Schnellprüfung aber in kurzer Zeit brauchbare Hinweise auf die Sulfatbeständigkeit.

### Auslaugbeständigkeit

Die Probekörper für die Auslaugversuche waren identisch mit jenen, die zur Ermittlung der Druckfestigkeit hergestellt und ausgehärtet wurden.

Als Auslaugmedien wurde demineralisiertes Wasser und gipsgesättigtes Würtenlinger Brunnenwasser verwendet. Das Verhältnis des Flüssigkeitsvolumens zu äusserer Probenoberfläche war 10 ml/cm<sup>2</sup>.

In Anlehnung an ISO/DIS 6961 wurden die Flüssigkeiten in bestimmten Perioden gewechselt. Für jedes Nuklid wurden die Anfangsaktivität im Probekörper sowie nach jedem Flüssigkeitswechsel die aus dem Probekörper ausgelaugte Aktivität in der Lösung gemessen. Daraus wurden die integralen nuklidspezifischen Auslaugraten über den kumulierten Auslaugzeiten von bis zu zwei Jahren ermittelt.

## Ergebnisse

Für die in den schweizerischen Leichtwasserreaktor-Kernkraftwerken anfallenden schwach- und mittelaktiven Abfälle – z.B. borathaltige Lösungen und Ionenaustauscherharze – wurden eine grosse Anzahl von Mischungen mit Zement und Zuschlagstoffen untersucht;



## Literatur

- [1] R. Grauer: «Gläser zur Verfestigung von hochradioaktivem Abfall: ihr Verhalten gegenüber Wässern», EIR-Bericht Nr. 477, Februar 1983 (id. mit NAGRA NTB-83-01)
- [2] Konditionierung, Verpackung und Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle, Richtlinie für Kernanlagen R-14, Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (ASK), Mai 1980.
- [3] Schutzziele für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, Richtlinie für Kernanlagen R-21, Eidg. Kommission für die Sicherheit der Atomanlagen (KSA), Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (ASK), Oktober 1980.
- [4] D. Laske: «Bestimmung von Verteilungskoeffizienten (Kd-Werten) bei der Absorption von Cs und Sr an möglichen Zusätzen zu mineralischen Verfestigungen», NAGRA Technischer Bericht 28, Juni 1979.
- [5] D. Laske: «Verfestigung aktiver boralthaltiger Abfallkonzentrate aus Druckwasserreaktoren», NAGRA Technischer Bericht 82-01, März 1982.

ein Teil der Ergebnisse wurde schon publiziert [4, 5], ein zusammenfassender Bericht ist in Vorbereitung.

In der Tabelle sind einige typische anwendungsbereite Zementverfestigungen charakterisiert. Sie enthalten einen verhältnismässig grossen Abfallanteil und erreichen Druckfestigkeiten von 30 bis 50 N/mm<sup>2</sup>. Die Auslaugraten für Radionuklide sind mehr als hundertmal kleiner als der Richtwert von 10<sup>-3</sup> g/cm<sup>2</sup> · Tag. Die Wasser- und Sul-

fatbeständigkeit dieser Zementverfestigungen erwiesen sich als gut.

## Ausblick

Wie gezeigt, liegen für die wichtigsten radioaktiven Abfallarten, die heute in den schweizerischen Kernkraftwerken anfallen, bereits brauchbare, anwendungsbereite Mischungen und Verfahren zur Verfestigung mit Zement vor, welche die behördlichen Sicherheitsvorschriften und Anforderungen erfüllen. Trotzdem werden am EIR Entwicklungsarbeiten weitergeführt mit drei Hauptrichtungen:

- Für neue anfallende Abfallarten werden Zementverfestigungen entwickelt;
- Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Verfestigungsmatrix werden unter Berücksichtigung der neuesten Erkenntnisse und Techniken ständig verbessert; damit wird in der Risikoanalyse die Sicherheit der ersten technischen Barriere bei der Endlagerung noch weiter erhöht;
- Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit soll der Abfallanteil in der verfestigten Matrix noch erhöht werden, ohne die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Matrix zu beeinträchtigen.

Die Eigenschaften einer Zement-Abfall-Matrix können auf verschiedenen

Wegen verbessert werden; entsprechende Untersuchungen mit ersten, vielversprechenden Ergebnissen sind bereits angelaufen:

- Durch verschiedene Vorbehandlungen kann die Verträglichkeit zwischen Abfall und Zement erhöht werden;
- Die Zugfestigkeit der Abfallmatrix kann durch geringe Zusätze geeigneter Faserstoffe gesteigert werden;
- Festigkeit, Dichtheit, Auslaugbeständigkeit und andere Eigenschaften von Zementverfestigungen lassen sich verbessern durch Zusätze von Kunststoffdispersionen wie z. B. Neopren-Latex, modifizierte und nicht modifizierte Acrylharz-Dispersionen, Epoxi-Dispersionen, modifizierte Vinylchlorid-Dispersionen, u.a.;
- Ausgehärtete Zementverfestigungen können nachträglich noch durch Imprägnieren oder Injizieren von neuartigen härtbaren Kunststoffen verbessert werden. Dafür kommen möglichst niederviskose Lösungen in Frage wie z. B. verschiedene wasserlösliche, mit Formaldehyd aushärtbare Phenolharztypen (pflanzliche Tannine, Resorzinole und andere polyvalente Phenole) oder spezielle Acrylharztypen.

Adresse der Verfasser: Dr. Ing. K.-H. Wiedemann und Dr. chem. D. Laske, Eidg. Inst. für Reaktorforschung EIR, 5303 Würenlingen.

## Baufaufgaben wären vorhanden

## Plenarversammlung der SBK

Unter dem Vorsitz von Erwin Grimm, der im vergangenen Jahr die Nachfolge von Willy Messmer angetreten hatte, fand kürzlich in Zürich die Plenarversammlung der Schweizerischen Bauwirtschaftskonferenz (SBK) statt. Grimm plädierte für optimale Rahmenbedingungen auf dem Bauproduktmarkt, damit die Bauwirtschaft wieder gewinnbringend werden und so die notwendigen Ersatz- und Umstrukturierungsinvestitionen vornehmen könne. Als Gastreferent vertrat der Aargauer Ständerat Dr. Hans Letsch die Meinung, dass die Staatsausgaben zu Lasten des Konsums vermehrt für Investitionen zu verwenden seien.

Die SBK vereinigt 90 Berufs- und Fachorganisationen aus Planung, Bauhaupt- und Ausbaugewerbe sowie aus Zulieferindustrien.

Gegründet wurde sie unter der Schockwirkung der Rezession vor 10 Jahren, als die Bauwirtschaft unerwartet aus höchsten Höhen abstürzte. Man erhob damals den Ruf nach *Versteigerung der Baunachfrage* und forderte beispielsweise vom Staat eine antizyklische Investitionstätigkeit. Dies scheint gelungen, denn heute sind nach Ansicht der Prognostiker die konjunkturellen Wellen kürzer, und ein grösserer Einbruch ist nicht mehr zu erwarten. Inzwischen sind aber

neue Probleme aufgetaucht. Überkapazität und *stagnierendes Bauvolumen* verlangen von den Baubetrieben eine höhere Flexibilität, weiteren Strukturwandel und Spartenverschiebungen. Mit dieser neuen Situation muss die Wirtschaft selber fertig werden, denn fordern kann man nicht mehr, weil niemand mehr dazu da sei, wie Grimm erklärte. Die SBK versteht sich denn als *Gesprächsforum für die Meinungsbildung*, wozu sie Daten erhebt und koordinierend wirkt. Ihre Bauproduktmarktbeobachtung soll ein «Konjunktur-Frühwarnsystem» im Dienste der über 40 000 Betriebe mit 460 000 Beschäftigten sein.

## Unsichere Zukunft

Grimm schilderte die Lage der Bauwirtschaft wie folgt: Trotz ruhiger Entwicklung und optimistischer Wohnbaukonjunktur ist die *unmittelbare Zukunft nicht gesichert*. Auf sehr tiefem Niveau stabilisiert sich der Tiefbau; rückläufig tendiert der gewerblich-industrielle Bau, und die Wohnbauförderung des Bundes läuft aus. Im Bauhauptgewerbe herrscht ein gnadenloser Verdrängungswettbewerb, der durch sinkende Nachfrage aus dem Ausland noch verstärkt wird.

Baufaufgaben wären genügend vorhanden: Investitionen in unsere Infrastruktur, wie Ausbau und Erneuerung der Bahnen, in eine sichere Energieversorgung und Massnahmen zum Umweltschutz. Doch *politische Widerstände* und geltende öffentlich-rechtliche Bestimmungen wirken heute *bauverhindernd*. Die SBK bekämpft deshalb übertriebene Normierung oder Gesetzgebung. Gleichzeitig bemüht sie sich um eine investitions-gerechte Finanzpolitik der öffentlichen Haushalte. Da fünf Sechstel dieses Bauvolumens auf kantonaler und kommunaler Ebene realisiert werden, fällt den kantonalen bauwirtschaftlichen Organisationen eine Schlüsselrolle zu, wo verstärkte Aktivitäten unerlässlich sind.