

Kurzbericht

Schnelltest auf Alkalireaktion für deutsche Beton-Zuschläge

1. Zielsetzung

Aufgabe des Forschungsvorhabens war es, einen international bereits verwendeten Schnelltest auf seine Eignung für die Beurteilung deutscher Betonzuschläge zu überprüfen im Hinblick auf eine eventuelle Übernahme in die Alkali-Richtlinie des DAfStb. Im Teil 3 der Alkali-Richtlinie werden Grauwacken und andere fragliche Zuschläge mit Hilfe von Dehnungsmessungen an Betonprismen und Rissbildungsbeobachtungen an Würfeln von 30 cm Kantenlänge in einem 9 Monate dauernden Nebelkammer-Test untersucht. Angesichts der langen Prüfzeit wäre ein Schnelltest eine sinnvolle Alternative oder Ergänzung des angesprochenen Verfahrens nach Teil 3. Die Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Bewertungen aus dem Schnelltest mit denjenigen der Testverfahren der Alkali-Richtlinie übereinstimmen. Wichtig für einen Schnelltest ist eine einfache Handhabbarkeit. Weiterhin sollte das Verfahren möglichst ohne Spezialgerätschaften auskommen. Werden die o.g. Bedingungen erfüllt, könnte ein solches Testverfahren nicht nur für die Fremdüberwachung, sondern unter Umständen auch für die Eigenüberwachung von Kieswerken Verwendung finden.

2. Durchführung der Untersuchungen

Der verwendete Schnelltest basiert auf den Verfahren NBRI, ASTM-C-1260 und dem entsprechenden Rilem-Verfahren und ist somit ein im Prinzip international anerkanntes Schnellverfahren. Die Dauer des Tests beträgt maximal 14 Tage. Er wird an Prismen aus gebrochenen Zuschlägen durchgeführt, die in 80°C heißer Natronlauge eingelagert werden und deren Dehnung über den genannten Zeitraum registriert wird. Die Zeit bis zum Überschreiten einer Dehnung von 1 Promille wird als Maß für die Beurteilung der Alkali-Reaktivität der geprüften Gesteinssorte hauptsächlich herangezogen.

Es galt nun zu überprüfen, ob dieses Verfahren auf deutsche Verhältnisse übertragbar ist und ob es mit den in Deutschland vorkommenden verdächtigen Zuschlägen zu eindeutigen Ergebnissen führt.

Die folgenden 9 Gesteinssorten bzw. Zuschlagmischungen wurden mit dem Prüfzement CEM I mit einem Na₂O-Äquivalent von 1,3 % im Schnelltest geprüft.

Tab.: 1 Rezepturen

Nr.	CEM I (Na ₂ O-Äquivalent 1,3%)	CEM I (Na ₂ O-Äquivalent < 0,6%)
1	Grauwacke Lausitz I	Grauwacke Lausitz I
2	Grauwacke Lausitz II	Grauwacke Lausitz II
3	Grauwacke Harz I	
4	Oberrhein-Edelsplitt	
5	Glensanda- Granit	
6	Glensanda- Granit+ 2 % Opalsandstein, $\rho = 1,3-1,5 \text{ g/cm}^3$ (OSS-N)	Glensanda- Granit+ 2 % Opalsandstein, $\rho = 1,3-1,5 \text{ g/cm}^3$ (OSS-N)
7	Glensanda Granit + 2 % Opalsandstein, $\rho = 1,7-1,9 \text{ g/cm}^3$ (OSS-H)	
8	Glensanda- Granit + 2 % Opalsandstein, $\rho = 1,3-1,5 \text{ g/cm}^3$ + Feinstzuschlag (OSS-NF)	
9	Zementstein, keine weiteren Zuschläge	

Die Zuschlagmaterialien 1, 2 und 6 wurden außerdem unter Verwendung von CEM I mit einem Na₂O-Äquivalent von < 0,6 % dem Schnelltest unterworfen.

Zum Vergleich wurden parallel dazu aus den Gesteinsmaterialien 1 - 7 und dem CEM I (1,3 % Na₂O-Äquiv.) Betonkörper hergestellt und über 9 Monate in der Nebelkammer nach Teil 3 der Alkali- Richtlinie untersucht.

Zusätzlich zu den Schnelltests und den Nebelkammer-Untersuchungen nach Teil 3 wurden die Zuschlagmaterialien petrografisch charakterisiert, wozu das Gefüge der verwendeten Gesteinssorten im Lichtmikroskop an Dünnschliffen näher untersucht wurde. Nach Abschluss der Dehnungs- und Einlagerungsversuche nach beiden Verfahren wurde dann auch die Beschaffenheit der zugehörigen Prüfkörper fotografisch dokumentiert. Aus einigen der geprüften Körper wurden ferner Scheiben herausgesägt, aus denen größere Dünnschliffe hergestellt und im Lichtmikroskop zur Charakterisierung der Einwirkung der Alkali-Reaktion untersucht wurden.

3. Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

3.1 Charakterisierung der verwendeten Gesteinssorten

Im Folgenden seien zunächst einige der Dünnschliffbilder der Gesteinssorten vorgestellt. Die folgenden beiden Fotos (Foto 1 und 2) zeigen einen Gefügausschnitt der Grauwacken Lausitz 2 und Harz 1.

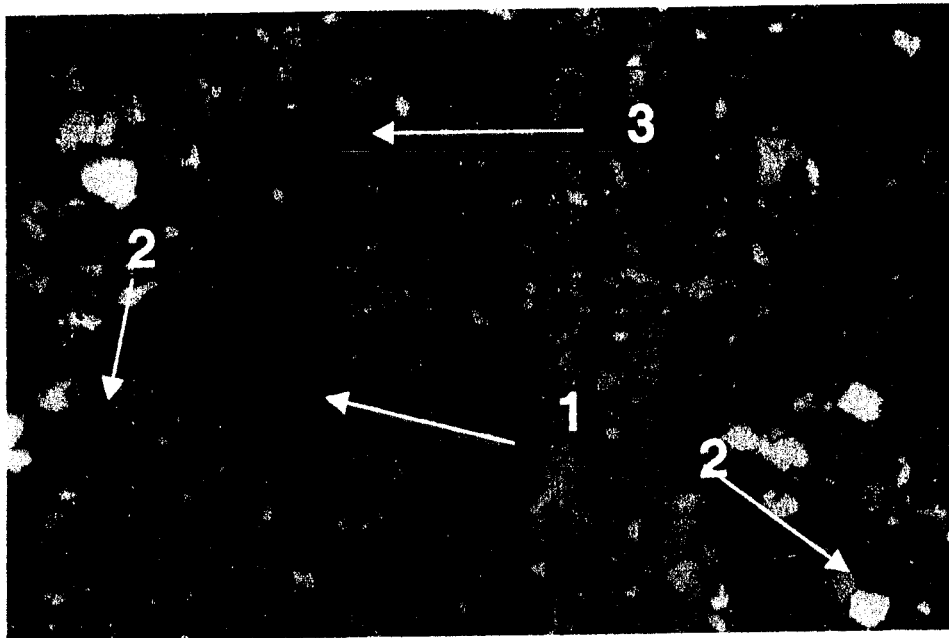


Foto 1 Grauwacke Lausitz II, gekreuzte Polarisatoren, 50-fache Vergrößerung, Bildbreite ca. 4 mm, 1) kryptokristalliner Quarz, 2) miteinander verzahnte Quarzkörner, 3) detritisches Quarzkorn

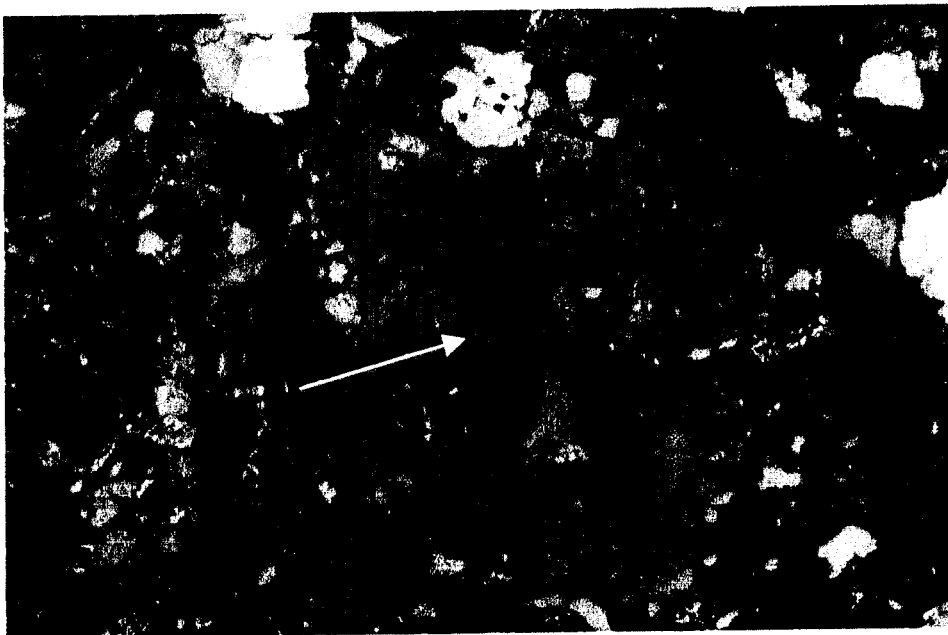


Foto 2 Grauwacke Harz I, gekreuzte Polarisatoren, 50-fache Vergrößerung, Bildbreite ca. 4 mm, stark undulös auslöschendes Quarzkorn (Pfeil)

Festzuhalten ist, dass kryptokristalline Quarzansammlungen und im Lichtmikroskop undulös stark auslöschende Quarzkörner festgestellt werden, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit für die festgestellte Alkalireaktivität verantwortlich sind. Die weiteren exemplarisch beigefügten Fotos 3+4 zeigen Schiffe des Kieselsteins-Anteils, der im untersuchten Oberrhein-Edelsplitt nennenswert enthalten ist. Hier sind insbesondere die biogenen Schwammnadeln als besonders alkalireaktiv herauszustreichen.

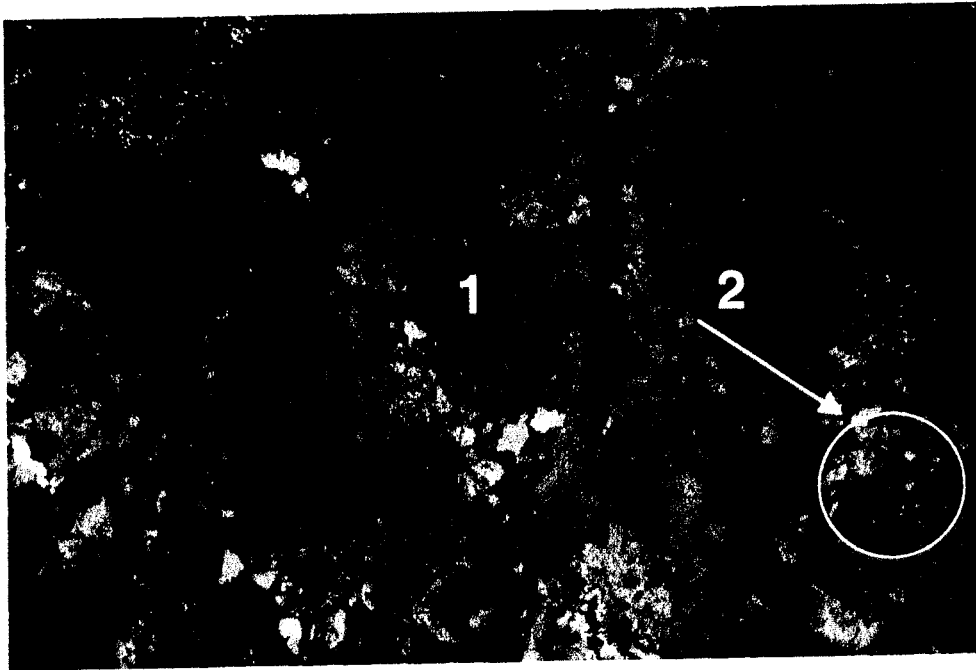


Foto 3 Oberrhein-Edelsplitt, Kieselschiefer, gekreuzte Polarisatoren, 50-fache Vergrößerung, Bildbreite ca. 4 mm, 1) sphärische Chalcodon-Aggregate, 2) kryptokristalliner Quarz

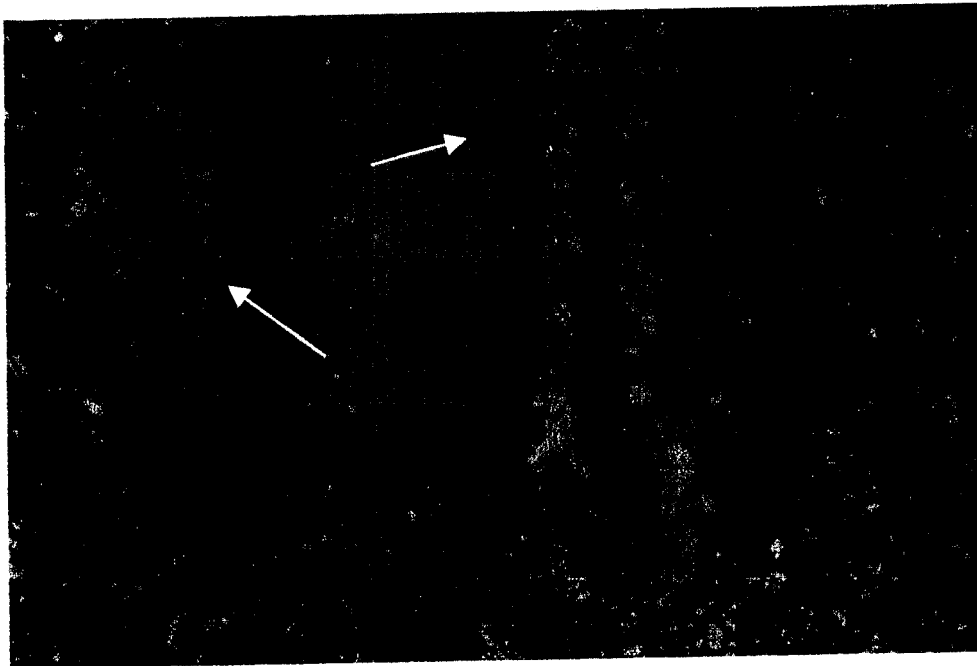


Foto 4 Oberrhein-Edelsplitt, Kieselschiefer, linear polarisiertes Licht, 100-fache Vergrößerung, Bildbreite ca. 2 mm, biogenes Sediment mit Schwammnadeln (Pfeile)

Auf eine Wiedergabe der Dünnschliff-Bilder der anderen Gesteinssorten wird hier verzichtet. Beim Opalsandstein fielen wiederum besonders die zur Alkali-Reaktion führenden biogenen Opalschwammnadeln auf.

Zur Charakterisierung der Gesteinssorten gehört auch die Messung des Porenvolumens und damit der Gesteinsdichtigkeit gegenüber Wasseraufnahme. Die folgende Tabelle gibt die ermittelten Dichten und das Porenvolumen der Gesteinssorten wieder.

Tab.: 2 Ergebnisse der Quecksilberdruckporosimetrie

Probenbezeichnung	ρ_{roh} [g/ml]	ρ_{rein} [g/ml]	V_p [Vol.-%]
Lausitz I	2,6490	2,6618	0,48
Lausitz II	2,6960	2,7170	0,77
Harz I	2,7195	2,7316	0,44
Oberrhein-Edelsplitt	2,6080	2,6168	0,34
Oberrhein-Edelsplitt (Kieselschiefer)	2,6151	2,6514	1,37
Glensanda	2,5710	2,5827	0,45
Opal 1,3-1,5 g/cm ³	1,4862	2,3429	36,56
Opal 1,3-1,5 g/cm ³	1,4945	2,3138	35,41
Opal 1,7-1,9 g/cm ³	1,6917	2,1568	21,57

Die Ergebnisse zeigen, dass die Grauwacken, der Granit und wesentliche Teile des Oberrhein-Materials extrem niedrige Porositäten um ca. 0,5 Vol.-% aufweisen, die die langsame Reaktion dieser Gesteinssorten in der Praxis erklären. Die Porosität von dichtem Opalsandstein liegt dagegen bei etwa 22 Vol.-%, bei Opalsandstein niedriger Dichte bei ca. 36 Vol.-%. Diese Porositäten begründen einerseits die deutlich schnellere Reaktion dieses Zuschlagmaterials, erklären aber auch, warum Opalsandstein niedriger Dichte im Gegensatz zu demjenigen hoher Dichte zu keiner Betonschädigung führt.

3.2. Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen zum Schnellprüfverfahren und Bewertung

Nach der Alkali-Richtlinie Teil 3 wird der Beton für die Dehnungsbalken und die Würfel aus den Körnungen 0-2, 2-8 sowie 8-16 hergestellt. Das zu prüfende Zuschlagmaterial umfasst die Körnungen 2-16 mm und beträgt 70 % des Gesamtzuschlags, während die Korngruppe 0-2 im Gesamtanteil von 30 % aus nicht reaktivem Natursand besteht. Bei den Prismen für die Schnelltests besteht der gesamte Zuschlag aus dem zu prüfenden Material, das gebrochen wird und verschiedene Kornabstufungen mit einer maximalen Körnung von 4 mm aufweist.

Die an den Betonbalken in der Nebelkammer gemessenen Dehnungen sind für alle geprüften Gesteinssorten aus dem folgenden Diagramm zu entnehmen.

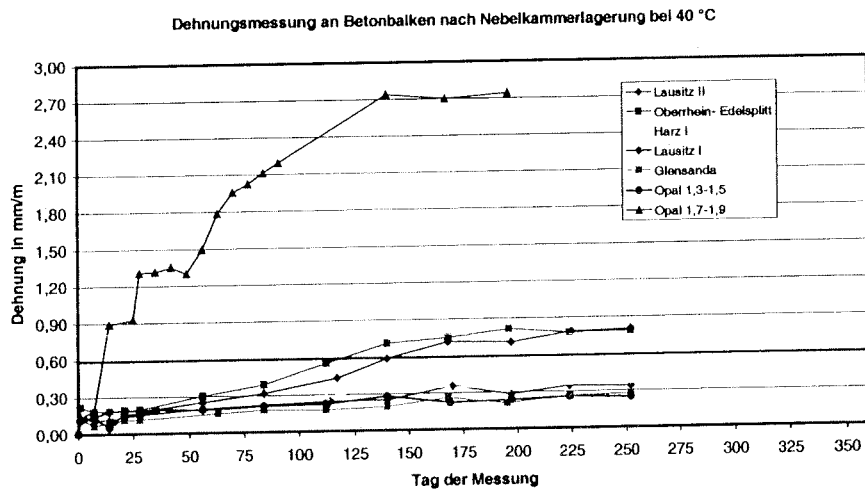
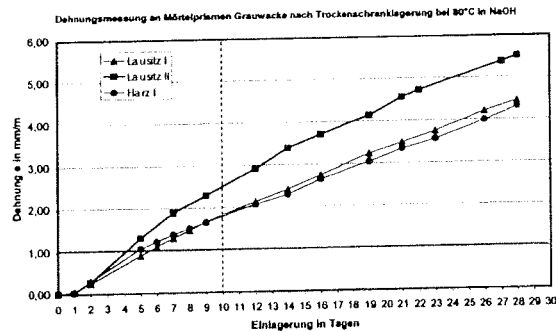


Diagramm 1: Gegenüberstellung aller Mittelwertkurven

Erkennbar ist, dass die Mischung mit dem dichten Opalsandstein zur schnellsten Reaktion und größten Dehnung führt innerhalb der Prüfzeit von maximal 9 Monaten, dass ebenfalls die Grauwacke Lausitz 1 und der Oberrhein-Edelsplitt die Dehngrenze von 0,6 mm/m des Teils 3 der Richtlinie überschreitet, während alle anderen Gesteinssorten, d.h. die Grauwacken Lausitz 2 und Harz 1, der Granit und die Mischung mit dem Opal niedriger Dichte weit unterhalb der Dehnungsgrenze liegen. Würde man nun allein diese Dehnungswerte der Balken nach Teil 3 der Richtlinie als Maßstab für eine Beurteilung benutzen, führte dies offensichtlich zu einer Fehlinterpretation, weil die gleichzeitig geprüften großdimensionalen Würfel, insbesondere auch bei den Grauwacken Lausitz 2 und Harz 1, zu erheblichen Risserscheinungen in der Prüfzeit geführt haben. Daraus ist zu folgern, dass wie in Teil 3 der Richtlinie vorgesehen, eine zuverlässige Bewertung nach diesem Teil 3 nur durch Heranziehung sowohl der Dehnungsergebnisse wie der Risserscheinungen an den Würfeln eine zuverlässige Beurteilung des Gesteinsmaterial möglich ist.

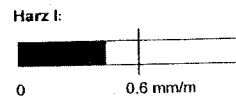
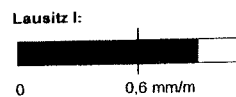
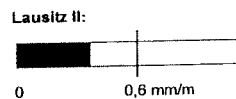
Die Ergebnisse aus dem Schnellprüfverfahren werden nun in den folgenden Diagrammen den Ergebnissen aus Teil 3 der Alkali-Richtlinie gegenüber gestellt, wobei die letzteren als farbige Balken mit den zugehörigen Grenzwerten dargestellt sind.

Schnellprüfverfahren



Alkali-Richtlinie Teil 3

Dehnungen der Betonbalken nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung



Rissbildung der Würfel nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung

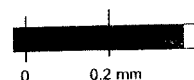
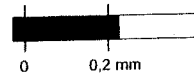
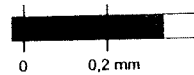
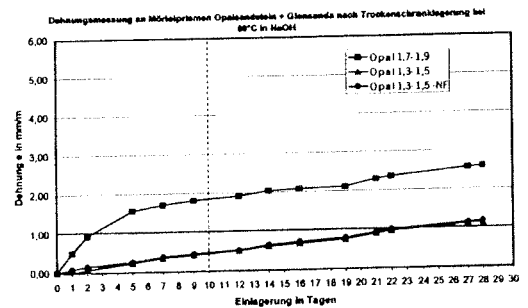


Bild 1

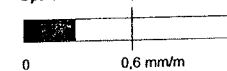
Schnellprüfverfahren



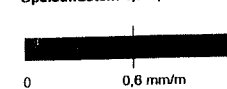
Alkali-Richtlinie Teil 3

Dehnungen der Betonbalken nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung

Opalsandstein 1,3-1,5 + Glensanda-Granit:



Opalsandstein 1,7-1,9 + Glensanda-Granit:



Rissbildung der Würfel nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung

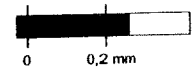
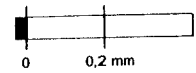
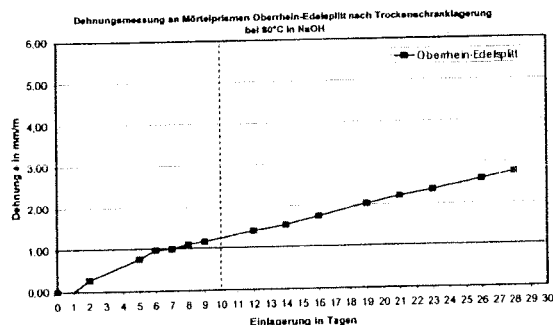


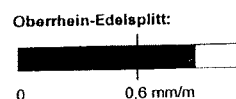
Bild 3

Schnellprüfverfahren



Alkali-Richtlinie Teil 3

Dehnungen der Betonbalken nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung



Rissbildung der Würfel nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung

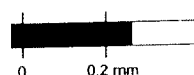
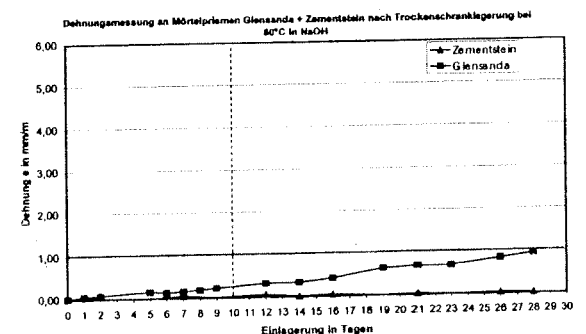


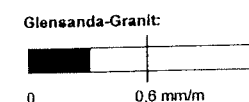
Bild 2

Schnellprüfverfahren



Alkali-Richtlinie Teil 3

Dehnungen der Betonbalken nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung



Rissbildung der Würfel nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung

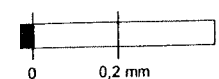
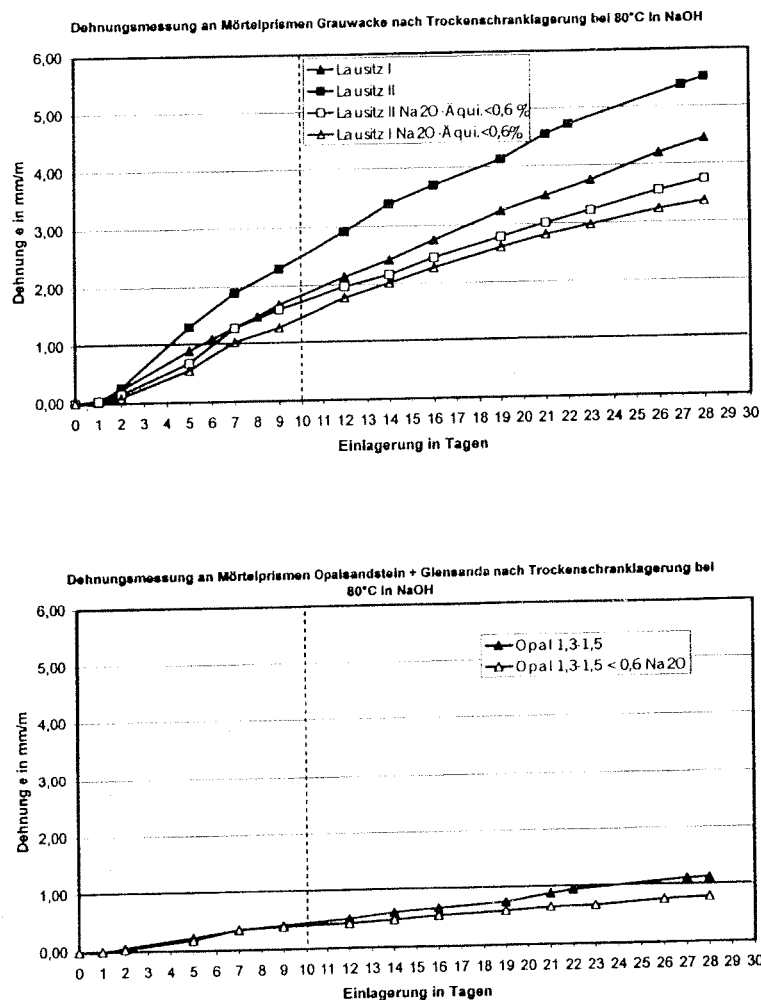


Bild 4

Schnellprüfverfahren**Bild 5**

Aus Bild 1 sind die Ergebnisse für die geprüften Grauwacken zu entnehmen. Man sieht, dass alle 3 Grauwacken durch den Schnelltest als reaktiv eingestuft werden. Das Bild 2 zeigt die Ergebnisse für den Oberrhein-Edelsplitt. Beide Prüfverfahren kommen übereinstimmend zum selben Ergebnis. Das darauf folgende Bild 3 enthält die Ergebnisse für die Mischung aus dem nicht reaktiven Granit und den Opalsandsteinen hoher und niedriger Dichte sowie bei feinverteiltem Opalsandstein niedriger Dichte. Wiederum übereinstimmend bei beiden Verfahren führt der Anteil an Opalsandstein hoher Dichte 1,7 - 1,9 zu einer schnellen und deutlichen Reaktion, während der Anteil aus Opalsandstein niedriger Dichte nach Teil 3 der Richtlinie nur niedrige Dehnungen und keine Risse an dem Würfel zur Folge hat, übereinstimmend hierzu auch nur geringe Dehnungen im Schnellprüfverfahren.

Das nachfolgende Bild 4 enthält die Ergebnisse der Überprüfung des als nicht alkalireaktiv angesehenen Anteils Glensanda-Granits sowie des reinen Zementsteins. Das Schnellprüfverfahren stuft beide als nicht reaktiv ein. Insbesondere der Zementstein zeigt keinerlei Dehnung während der Prüfzeit. Auch nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie erhält man bei Verwendung von Glensanda-Granit weder Risse im Würfel noch nennenswerte Dehnungen des Prüfbalkens.

Zusammenfassend zu diesen Vergleichsuntersuchungen kann festgestellt werden, dass in allen Fällen das Schnellprüfverfahren und Teil 3 der Richtlinie zur gleichen Einstufung gelangt sind.

Weitergehend wurde überprüft, zu welchen Ergebnissen der Schnelltest gelangt, wenn man statt des vorgesehenen Prüfzementes (CEM I mit 1,3 Na₂O-Äquiv.) einen NA-Zement verwendet. Überprüft wurde dies an den Mischungen mit den Grauwacken Lausitz 1 und Lausitz 2 sowie mit dem Opalsandstein niedriger Dichte (Bild 5). Beim letzteren führt der NA-Zement erwartungsgemäß zu noch niedrigeren Dehnungen als bei Verwendung des Prüfzementes mit 1,3 Na₂O-Äquiv. Bei den Lausitzer Grauwacken erhält man zwar mit dem NA-Zement ebenfalls deutlich niedrigere Dehnungen, das Verfahren stuft aber den Zuschlag bei Verwendung des NA-Zementes ebenfalls als reaktiv ein. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass beim Schnelltest im Falle der Verwendung von Zement bzw. Zementstein mit niedrigem Alkaligehalt dieser niedrige Alkaligehalt durch Alkalizufuhr von außen aus dem Natronlaugebad gegenkompensiert wird.

Nach den bisherigen Untersuchungen ist der Schnelltest offensichtlich in der Lage, zuverlässig reaktive Gesteinssorten von nicht reaktiven zu unterscheiden. Trotzdem wird empfohlen, noch einige Kontrollversuche mit weiteren Gesteinssorten vorzunehmen zur zusätzlichen Absicherung des Verfahrens.