

# Überprüfung von Grauwackensplitt auf Alkalireaktivität

**T 2685**

T 2685

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltene Darstellung und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

# MFPA

# WEIMAR

Materialforschungs- und -prüfanstalt  
an der

Hochschule für Architektur und  
Bauwesen

---

Mitglied im VMPA, DGZfP, DECHEMA, DIN, CIB, RILEM, IBK, Dt. Beton-Verein, Abwassertechn.  
Vereinigung

## Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben

### "Überprüfung von Grauwackensplitt auf Alkalireaktivität"

Auftraggeber: Institut für Bautechnik Berlin

Forschende Stelle  
( Auftragnehmer ): Institut für Baustoffe Berlin

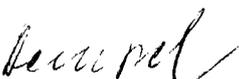
Geschäftszeichen: IV 1 - 5 - 653/91

Abschlußtermin des  
Forschungsvorhabens: 04/92

Verantwortlicher  
Bearbeiter: Dr. rer. nat. Hempel

Mitarbeiter: Dipl. - Ing. Böhmer

Weimar , den 15.06.1995

  
Dr. rer. nat. Hempel  
Fachgebietsleiter

Dipl. - Ing. Böhmer  
Wiss. Mitarbeiter

Institut für Baustoffe Weimar  
( jetzt MFPA s.o. )

## Gliederung

1. Literaturlauswertung
2. Aufgabenstellung
3. Lösungsweg
  - 3.1 Versuchsprogramm
  - 3.2 Versuchsdurchführung
4. Untersuchungen und Ergebnisse
  - 4.1 Frisch - und Festbetonprüfungen
  - 4.2 Dehnungsmessungen unter reaktionsfördernder Lagerung
  - 4.3 Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen
5. Weiteres Vorgehen
6. Zwischenabrechnung

### **Hinweis von IRB Verlag:**

alle Fotos auf Seite 1 - 11 können auf Anfrage in Farbe erstellt werden.

## 1. Literaturlauswertung

Es ist bekannt, daß fast alle Gesteine mehr oder weniger alkalireaktiv sind /1/, somit eine ganze Reihe von Vertretern der

- metamorphen Gesteine
- der magmatischen Gesteine und
- der Sedimentgesteine

Die Materialien der klassischen AKR /2/, vor allem solche mit niedrig strukturierter oder amorpher freier Kieselsäure, d.h. stärker reaktiven  $\text{SiO}_2$  - Modifikationen, gehören zu den Sedimentgesteinen, ferner zu den magmatischen Gesteinen, wenn man vulkanitisches Glas mit zu den Materialien der klassischen AKR rechnet /2/.

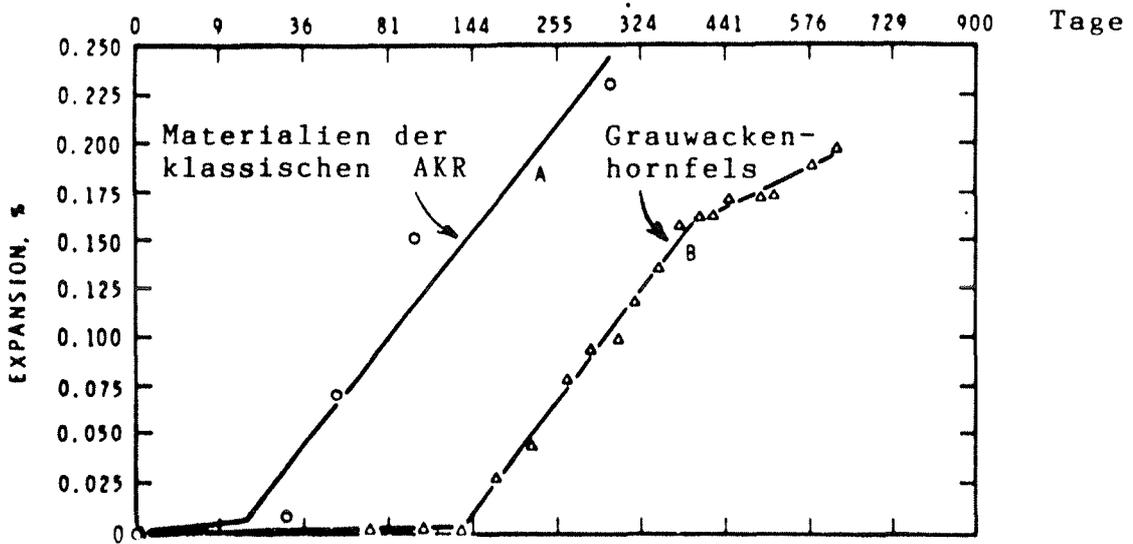
Im Gegensatz hierzu werden Gesteine höherer Reaktivität auf der Basis komplexer Silikate eigenschaftsbezogen "langsam dehnende" reaktive Gesteine genannt /2/ oder auch "später dehnende" /3/.

Hierzu zählen verschiedene Autoren auch Grauwacken ( Sedimentgestein ) und Metagrauwacken bzw. Grauwackenhornfelse ( Metamorphe Gesteine ), z.B. in /1/, /2/ und /3/, vorwiegend aus dem Gebiet der Kapprovinz .

Als Reaktionsträger wird ruptuell - undulös auslöschender Quarz ( bezogen auf Dünnschliffuntersuchungen mit polarisiertem Licht ) gesehen /4/, der nach mengenmäßigem Anteil im Gestein, Korngröße und Größe des Extinctions - oder Auslöschungswinkels den Grad der potentiellen Alkalireaktivität der Grauwacke oder eines anderen Gesteins mit entsprechenden Quarzen bestimmt.

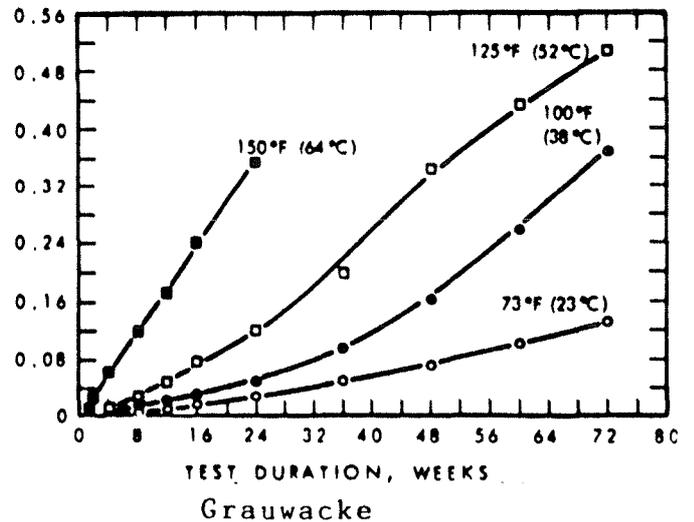
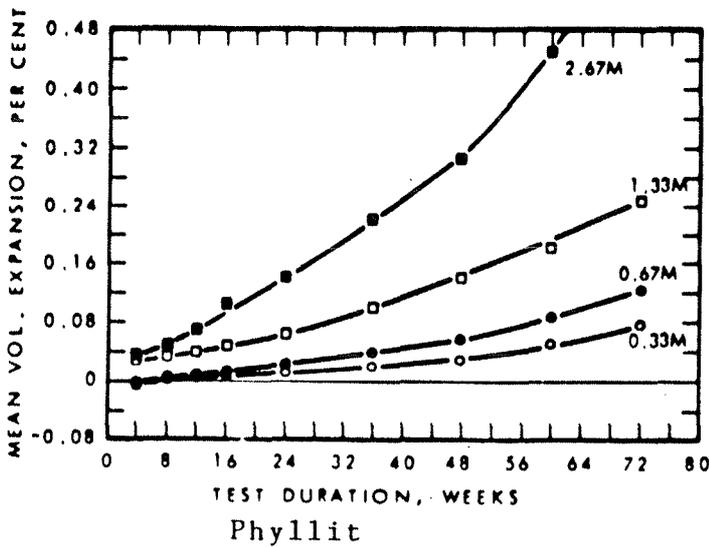
Zwischen 1970 und 1973 hergestellte Molensteine des Containerterminals des Kapstädter Hafens, die als Zuschlag auch Grauwackenhornfels der präkambrischen Malmesbury - Serie ( Tygerberg - Massiv ) enthalten, wurden über die gesamte Schutzdammlänge im Gischtbereich schadhafte infolge AKR /5/. Ebenfalls in einem Staudamm der Kapprovinz wurde ( 1955 ) Grauwackenhornfels als Splittkomponente verwendet ( Malmesbury - Serie ), aber nur für eine 2,82 m hohe Kronenüberhöhung des schon aus anderem Material hergestellten Staudammes ( in dem als Splittkomponente Tafelberg - Sandstein verarbeitet wurde ). Nach 13 Jahren Standzeit traten im Überhöhungsbereich Ribbildungen ein, die sich zu einem starken Alkalischaden weiterentwickelten /5/.

Das experimentelle Verhalten des Grauwackenhornfels im Mörtelbalkenversuch gegenüber einem hochalkalischen Zement ( 0,97 Gew. - %  $\text{Na}_2\text{O}$  - Äquivalent ) und im Vergleich zu Materialien der klassischen AKR zeigt die nachfolgende Abbildung aus /3/, d.h., die Bauschäden sind mit einem Gemenge mit hohem, zementbedingtem Alkaligehalt experimentell reproduzierbar ( 5820 g  $\text{Na}_2\text{O}$  - Äqu/m<sup>3</sup> Beton ).



In den Appalachen traten in einer 1928 betonierten Brücke nach 20 Jahren AKR - Schäden auf, Reaktionsträger war Phyllit /6/, also regionalmetamorpher Tonschiefer.

In /7/ werden experimentelle Ergebnisse mit solchen Gesteinen mitgeteilt. Hierbei wird gleichzeitig der stimulierende Einfluß der NaOH - Lösung bei konstant 38° C Lagerungstemperatur ( Phyllit ) bzw. von Temperatursteigerungen bis 64° C bei konstanter NaOH - Konzentration von 2.67 molarer NaOH demonstriert ( Grauwacke ) :



Ebenfalls in den Appalachen trat in einem Staudamm für ein Wasserkraftwerk 28 Jahre nach der Einbringung des Betons, in dem auch ein feldspathaltiger Quarzit ( Subgrauwacke ) enthalten war, eine betonschädigende AKR auf. Nachdem eine Teilauswechslung gegen einen Reparaturbeton vorgenommen worden war, traten in diesem wieder Risse auf, da der Altbetonkern noch nicht bewegungsberuhigt war /6/.

Bei der Anführung ostdeutscher Erfahrungen wird nur auf Grauwacke eingegangen.

1981 wurden umfangreiche Schäden in Form von Gelausscheidungen aus Deckenelementen im Wohnungsbau Hoyerswerda und Gesellschaftsbau Königswartha besichtigt, die Gelausscheidungen, die schon etwas karbonatisiert waren, analysiert und gezogene Bohrkerne bei 40° C reaktionsfördernd gelagert. Hierbei traten erneut Gelausscheidungen ( auf Grauwackenkorn Grenzen bevorzugt ) sowie Haarrisse auf. Die Zusammensetzung der Proben leicht gealterten Gels aus Königswartha war folgende:

Glühverlust	10,40	CaO	0,45	Gew. - %
MgO	0,00	SiO <sub>2</sub>	50,50	"
Na <sub>2</sub> O	3,20	K <sub>2</sub> O	14,70	"
SO <sub>3</sub>	0,13	CO <sub>2</sub>	6,50	"

$$P_H = 11,40$$

( Information an die Staatliche Bauaufsicht vom 07.09.1981 ).

Ebenfalls der Reaktionssteigerung durch Temperaturerhöhung kann ein 1983 begutachteter Schaden in Spannbetonschwellen ( BS 66 aus dem Werk Güssen bei Magdeburg ) zugeordnet werden; es handelte sich bei der reaktiven Splittkomponente wieder um algonkische Grauwacke der Lausitz /8/. Die Grauwacke wurde gem. Forderung des Gutachters sofort substituiert, der alkalireiche Zement dann auch gegen NA - Zement ausgetauscht; danach traten keine Schäden mehr auf.

Aber auch in normal erhärteten Betonen traten AKR - Schäden auf der Basis von Grauwacke auf, so z.B. auf dem Flugplatz Eckersdorf ( ehem. Drewitz bei Cottbus ) /9/. Ebenfalls Grauwackensplitt Oßling ( bei Kamenz ) wurde für die Flugplätze Preschen ( bei Cottbus ), Neu - Hardenberg ( ehem. Marxwalde ) und Großenhain eingesetzt; es handelt sich dabei wiederum um Schadensobjekte, die vom Mitautor begutachtet wurden.

Nach /10/ handelt es sich z.B. bei der Grauwacke Koschenberg ( ebenfalls algonkische Grauwacke dieses Gebietes ) um eine dicht - bis feinkörnige Grauwacke mit einer mittleren Korngröße von 0,10 mm Ø, in schiefrigen ( argillitischen ) Zwischenmitteln von weniger/gleich 0,05 mm Ø. Normal sind - metamorph verzahnt - Quarz - Feldspat - Biotit - sowie Tonmineralaggregate.

Mit zunehmender Kontaktmetamorphose am Lausitzer Granodioritpluton ändert sich die modale Zusammensetzung zu Quarz, Plagioklas, Kalifeldspat / Mikroklin, Biotit, Muskovit, Cordierit und Sillimanit /11/.

Nach /10/ kann folgende mineralogische Zusammensetzung angegeben werden:

	Vol. - %		Korngröße /mm/	
	Mittelwert	Streubreite	Mittelwert	Streubreite
Quarz - Feldspat - Biotit - Aggregate ( Gesteinsbruchstücke )	42,0	35,0...53,0	0,04	
Sercit	9,0	6,0...13,5	0,06	
Tonmin. - Aggregate ( einschl. Chlorit )	40,0	32,0...44,5	0,15	
Quarz	6,0	1,5... 9,0	0,20	
Akzessorien ( Zirkon, Apatit, Turmalin, Leukoxen)	1,8	0,8... 2,5	0,10	
Pyrit	1,2	0,6... 2,8	0,11	0,03...0,20

Chemische Zusammensetzung /10/:

	Gew. - %		Gew. - %		
SiO <sub>2</sub>	64,0	57,3... 70,7	Na <sub>2</sub> O	2,3	1,4... 4,6
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,19... 0,7	K <sub>2</sub> O	2,7	1,7... 3,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,3	13,4... 17,3	H <sub>2</sub> O+	0,9	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> \			CO <sub>2</sub>	n. b.	
FeO /	7,7	3,6... 10,5	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n. b.	
MnO	0,10	0,08... 0,15	GV	4,1	3,4... 5,1
MgO	1,7	1,2... 1,9	SO <sub>3</sub>	1,8	0,8...3,7
CaO	1,1	0,7... 2,1			

Für sehr wichtig wird weiterhin auch die Angabe in /12/ gehalten, daß unter den Gesteinsbruchstücken auch Kieselschiefer vorkommt, da dieses Sedimentgestein als alkalireactive Kieskomponente nachweisbar ist, also offenbar auch in Grauwacke Reaktionsträger ist oder an der Alkaliempfindlichkeit wesentlichen Anteil hat.

Auch oberdevonisch - unterkarbonische Grauwackenkomponenten des Harzes in Nordhäuser Kiessanden dürften stärker alkalireaktiv sein /13/, desgl. Grauwackenschiefer des Unterkarbons Thüringens /14/.

Im Gußbeton des Staubauwerkes Burgkhammer ( Ausgleichsbecken der Bleilochtalsperre der Saale ) wurde grobstückiger Baustellenaushub ( Grauwackenschiefer des Unterkarbons ) als Zuschlag verwendet ( 1930 / 31 ). Für die Schwergewichtsmauer am Bleiloch wurde gemäß Firmenschrift der Zementfabrik Thuringia Unterwellenborn /15/ der Hüttenzement Thurament verwendet ( S. 68, Abb. 11 ). Es ist anzunehmen, daß für das Staubauwerk Burgkhammer ebenfalls dieses Bindemittel zum Einsatz kam. Weitere Zuschlagkomponente neben den Unterkarbonschiefern war Oberdevonischer Diabas aus der Nähe des Gründungsgebietes.

Bereits Ende der dreißiger Jahre traten erste Rißschäden auf, die gutachterlich bearbeitet wurden ( nach mündl. Information des Auftraggebers für das Gutachten Herr Prof. Dr. Grün Düsseldorf ). Dabei soll eine sehr inhomogene Sulfationenverteilung im Beton beschrieben worden sein. Die neuerliche Untersuchung wurde vorgenommen, da auch der bewehrte Vorsatzbeton der älteren Sanierungsphase wieder schadhafte war. Die Untersuchung des Altbeton ergab

- Gelausscheidungen aus den Unterkarbon - Grauwackenschiefern bei reaktionsfördernder Lagerung im Feuchtraum des Instituts für Baustoffe mit

- 85 Gew. - %  $\text{SiO}_2$
- 6,0 "  $\text{Na}_2\text{O}$
- 8,5 "  $\text{K}_2\text{O}$ , also 11,6 Gew. - %  $\text{Na}_2\text{O}$  - Äqu.

- eine Restdehnung, die im Unterwasserbeton größer war als im stark geschädigten Beton des Spiegelschwankungsbereiches ( in dem wiederum die Gelausscheidungen am stärksten waren )

Für diese Erscheinung wird eine Alkalispatreaktion angenommen, der eine Alkalimigration und Konzentration zum Verdunstungs - ( also Spiegelschwankungs - ) bereich vorausging. Im Verdunstungsbereich ist die Betondehnung am weitesten fortgeschritten, die Restdehnung folglich am geringsten. Möglicherweise war die früher festgestellte inhomogene Verteilung der Sulfationen auch schon das Ergebnis einer derartigen Migration.

Mit diesem Beispiel ergeben sich nicht nur Vergleiche zu den in /5/ und /6/ beschriebenen Beobachtungen, sondern auch Hinweise auf das Entstehen örtlicher überkritischer Alkalikonzentrationen in primär nicht betongefährdend alkalihaltigen Massivkonstruktionen.

Weitere Schäden mit diesem Zement sind nicht bekannt, auch nicht in den Autobahnbrücken zwischen Nürnberg und Berlin ( Aussage des Leiters des Zementwerkes Unterwellenborn 1981 anlässlich des 75jährigen Betriebsjubiläums ).

## Quellennachweis

/ 1 / COULL, W. A.:

Eigenschaften und Anwendungsverhalten gebräuchlicher  
südafrikanischer Zuschläge

Alkali - Zuschlag - Reaktion im Beton  
5. Internationale Alkalikonferenz Kapstadt 1981  
Beitr. 37, 15 S.

/ 2 / GRATTAN - BELLEW, P. E.:

Überblick über Prüfmethode der Betonzuschläge auf Alkalireaktivität

Alkali - Zuschlag - Reaktion im Beton  
5. Internationale Alkalikonferenz Kapstadt 1981  
Beitr. 9, 12 S.

/ 3 / GRATTAN - BELLEW, P. E.:

Erwiderung auf die Diskussion von D. A. St. JOHN über die  
Veröffentlichung "Bewertung des Gesteinskleinprismen-  
testes zur Bestimmung der potentiellen Zuschlag - Alkalireaktivität"

Cem. And Concr. Res. 13 ( 1983 ) , 296 . . . 299

/ 4 / DOLAR - MANTUANI, L. M. M.:

Verwendung der undulösen Auslöschung des Quarzes zur Bestimmung  
der potentiellen Gesteins - Alkalireaktivität

Alkali - Zuschlag - Reaktivität im Beton  
5. Internationale Alkalikonferenz Kapstadt 1981  
Beitr. 36, 7 S

/ 5 / POTEVIN, P. & M. REGOURD:

Dauerhaftigkeit von Betonen - Fälle von reaktiven Zuschlagstoffen

Jb. Techn. Inst. Hoch - und Tiefbau, H. 413  
Reihe Baustoffe 59, Paris 1983

- / 6 / GRATTAN - BELLEW, P. E.:
- Kanadische Erfahrungen auf dem Gebiet des Alkalitreibens
- Alkali - Zuschlag - Reaktion im Beton  
5. Internationale Alkalikonferenz Kapstadt 1981  
Betr. 6, 11 S.
- / 7 / DUNCAN, M. A. G. et al.:
- Alkali - Zuschlag - Reaktion in Nova Scotia  
III. Laboruntersuchungen über Raumänderung
- Cem. and Concr. Res. 3 ( 1973 ), 233 . . . 245
- / 8 / HEMPEL, G.:
- Gutachten über Betonschäden an Spannbetonschwellen BS 66  
( Güssen ) der Strecke Tharandt - Edle Krone
- Inst. f. Baustoffe Weimar, 20.04.1983, 4 S. und Anlagen
- / 9 / HEMPEL, G.:
- Gutachten über Betonschäden an Flugbetriebsflächen des Objektes  
"D" im Raum Guben
- Inst. f. Baustoffe Weimar, 01.08.1984, 8 S.
- / 10 / Rohstoffkatalog des Instituts für Zuschlagstoffe und Natursteine  
Großräschen  
Blätter 13 / 1. . . 4
- / 11 / Exkursionsführer der gesellschaft für Geologische Wissenschaften  
Nov. 1989 in Görlitz  
S. 36 . . . 38
- / 12 / MÖBUS, G.:
- Einführung in die geologische Geschichte der Oberlausitz  
Dtsch. Verl. d Wissenschaften Berlin, 1956, 107 S. , eine Karte im  
Anhang
- / 13 / HEMPEL, G.:
- Baufachliches Gutachten über die mögliche Alkalireaktionsbelastung  
des Ortbetons der Widerlager der Straßenbrücke über die Saale am  
Paradies in Jena und des "Knotens" Neulobeda  
Jena, 04.11.1990, 6 S.

/ 14 / HEMPEL, G.:

Baufachliches Gutachten über Betonschäden im Staubbauwerk  
Burgkhammer ( Ausgleichsbecken, Saale )

Jena, 19.12.1990, 7 S.

/ 15 / Thurament - Zementfabrik Unterwellenborn ( Thür )

Merzdorf & Frosch, Graphische Kunstanstalt, Saalfeld ( Saale ),  
1938, 85 S.

## 2. Aufgabenstellung

Es soll überprüft werden, ob sich bei Einsatz nach DIN 1164 genormter Zemente und nach DIN 1045 normgerecht hergestellter Betone Zuschläge als alkalireaktiv erweisen, die von der forschenden Stelle ( IfB Weimar ) als solche eingestuft wurden. Als alkalireaktive Zuschläge werden von der forschenden Stelle u. a. Grauwacken angesehen, unter deren Verwendung in der Vergangenheit im Gebiet der neuen Bundesländer Betonschäden durch Alkali - Zuschlag - Reaktion südlich des Geltungsbereiches der Richtlinie "Alkalireaktion im Beton" nachgewiesen werden konnten.

Die Aufgabenstellung soll durch laufende Untersuchungen eines abgestimmten Versuchsprogrammes in drei Labors ( Forschungsinstitut der Zementindustrie Düsseldorf, MPA Eckernförde und Institut für Baustoffe Weimar ) in Form eines "Ringversuchs" realisiert werden, um eine größtmögliche Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu erreichen.

## 3. Lösungsweg

### 3.1 Versuchsprogramm

Eine Überarbeitung des vorgesehenen Arbeitsablaufes und Versuchsprogrammes laut Vertrag vom 09.07.1991, Anlage 1, war nicht erforderlich. Besuche und fachliche Problemdiskussionen zur Versuchsthematik erfolgten mit dem Betreuer der forschenden Stelle, Herrn Dr. - Ing. Siebel vom Forschungsinstitut der Zementindustrie Düsseldorf. Eine Abstimmung zum vorliegenden Bericht erfolgte jedoch nicht.

### Betonzusammensetzung der Probekörper

1. Zuschlag
  - Sieblinie B/C 16, nach DIN 1045
    - Sand 0/ 2 mm nicht alkalireaktiv, sogenanntes "Inertes"
    - Splitt 2/ 8 mm
    - Kies 8/ 16 mm
  - bestehend aus inertem Material und Grauwacke
  - Verhältnis Grauwacke/ Inertes = 70 : 30
  
2. Zement
  - PZ 35 F, nach DIN 1164
    - Na<sub>2</sub>O - Äquivalente von 0,8 Gew - % und 1,2 Gew - %
    - Zementgehalte im Beton von 400 kg/ m<sup>3</sup> und 500 kg/ m<sup>3</sup>
    - Wasserzementwert W/ Z = 0,55
  
3. Probekörper
  - 3 Würfel mit 15 cm Kantenlänge für Bestimmung der Betonfestigkeit
  - 1 Würfel 30 cm Kantenlänge zur visuellen Prüfung des Betons
  - 2 Balken 10 cm x 10 cm x 50 cm für Dehnungsmessungen

4. Lagern der Probekörper
  - 1 Tag in Schalung
  - anschließend Nebelkammerlagerung bei 40° C und 100 % relativer Luftfeuchte
  
5. Prüfungen am Beton
  - Frischbeton
    - Rohdichte
    - LP - Gehalt
    - Ausbreitmaß nach 10 min
  - Festbeton
    - Visuelle Prüfungen
    - Dehnungsmessungen
    - Betondruckfestigkeit

### 3.2 Versuchsdurchführung

Vor Herstellungsbeginn der Probekörper waren Untersuchungen an den Betoneinsatzstoffen und die Ermittlung der Betonrezeptur erforderlich.

#### I. Zuschlag

Als geeigneter Zuschlag für alkaliumempfindliches ( "inertes" ) Material kamen die Lagerstätten Wallendorf/ Land Sachsen - Anhalt und Heberndorf/ Land Thüringen zur Auswahl.

Zuschlag Wallendorf stellt einen heterogen aufgebauten Betonkiessand dar, der aus Quarz mit Beimengungen von Kalksteinen, Sandsteinen und Schiefen besteht, während Zuschlag Heberndorf ein reiner Granitsplitt ist. Von beiden Zuschlägen sind keine Bauschäden bekannt.

Der zum Einsatz kamende alkalireaktiv angesehene Grauwackensplitt wurde von der Lagerstätte Oßling/ Land Sachsen bezogen.

Tabelle 1 stellt die Ergebnisse der Untersuchungen an den verwendeten Zuschlägen dar.

Tabelle 1, Blatt 1

Untersuchungs - und Prüfergebnisse der verwendeten Zuschläge

Siebloch- weite	Wallendorf					
	Sand 0/2 mm		Kies 2/8 mm		Kies 8/16 mm	
	D	Kornanteil	D	Kornanteil	D	Kornanteil
	/Gew. - %/	/Gew. - %/	/Gew. - %/	/Gew. - %/	/Gew. - %/	/Gew. - %/
31,5					100	3,4
16					96,6	51,2
11,2			100	10,0	45,4	41,9
8,0			90	81,6	3,5	2,9
4,0	100	2,4	8,4	7,3	0,6	0,2
2,0	97,6	13,1	1,1	0,6	0,4	0,1
1,0	84,5	33,0	0,5	0,2	0,3	0,1
0,5	51,5	44,2	0,3	0,2	0,2	0,1
0,25	7,3	7,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Prüfung auf Alkalireaktivität nach dem Mörtelschnelltest des IfB Weimar	Dehnung $\Delta l$ /mm/m/ <sup>+) </sup>					
		0,29		0,27		0,43
Rohdichte R /g/cm <sup>3</sup> /		2,66		2,62		2,60

<sup>+)</sup>  als betonkritischer Dehnungsgrenzwert wird vom Institut für Baustoffe Weimar eine Längenänderung von 0,6 mm/ m der Mörtelkleinstprismen angegeben

Tabelle 1, Blatt 2

Siebloch- weite	Heberndorf			
	Splitt 2/8 mm		Splitt 8/16 mm	
	D /Gew. - %/	Kornanteil /Gew. - %/	D /Gew. - %/	Kornanteil /Gew. - %/
31,5			100	0,8
16			99,2	37,7
11,2	100	1,4	61,5	53,2
8,0	98,6	56,1	8,3	7,6
4,0	42,5	32,0	0,7	0,1
2,0	10,5	4,9	0,6	-
1,0	5,6	2,3	0,6	-
0,5	3,3	0,9	0,6	-
0,25	2,4	2,4	0,5	0,5
Prüfung auf Alkalireaktivität nach dem Mörtelschnelltest des IfB Weimar	Dehnung $\Delta l$ /mm/m/ <sup>+) </sup>			
	0,32 <sup>++)</sup>			
Rohdichte R /g/cm <sup>3</sup> /	2,64			

<sup>+)</sup>  als betonkritischer Dehnungsgrenzwert wird vom Institut für Baustoffe Weimar eine Längenänderung von 0,6 mm/ m der Mörtelkleinstprismen angegeben

<sup>++)</sup> Dehnungen wurden auf Grund der Homogenität des Zuschlages aus Mischproben 2/16 mm ermittelt

Tabelle 1, Blatt 3

Siebloch weite	Obling							
	Splitt 2/5 mm		Splitt 5/8 mm		Splitt 8/11 mm		Splitt 11/16mm	
	D	/Gew. - %/	D	/Gew. - %/	D	/Gew. - %/	D	/Gew. - %/
31,5							100	12,6
16					100	3,5	87,4	71,4
11,2	100	0,1	100	16,0	96,5	88,3	16,0	15,1
8,0	99,9	52,8	84,0	83,9	8,2	7,8	0,9	0,7
4,0	47,1	45,9	0,1	-	0,4	0,1	0,2	-
2,0	1,2	1,0	0,1	-	0,3	-	0,2	-
1,0	0,2	0,1	0,1	-	0,3	-	0,2	-
0,5	0,1	-	0,1	-	0,3	-	0,2	-
0,25	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2
Prüfung auf Alkalireaktivität nach dem Mörtelschnelltest des IfB Weimar					Dehnung $\Delta l$ /mm/m/ <sup>+) </sup>			
					0,81 <sup>++)</sup>			
Rohdichte R								
/g/cm <sup>3</sup> /					2,74			

<sup>+)</sup>  als betonkritischer Dehnungsgrenzwert wird vom Institut für Baustoffe Weimar eine Längenänderung von 0,6 mm/ m der Mörtelkleinstprismen angegeben

<sup>++)</sup> Dehnungen wurden auf Grund der Homogenität des Zuschlages aus Mischproben 2/16 mm ermittelt

## II. Zement

Für die Versuche wurden vom Forschungsinstitut der Zementindustrie Düsseldorf zwei in ihrem  $\text{Na}_2\text{O}$  - Äquivalent variierende Zemente PZ 35 F ( im nachfolgenden als Zement 1 und Zement 2 bezeichnet ) bereitgestellt. An den Zementen wurden die Alkaligehalte flammenphotometrisch bestimmt.

Tabelle 2 Bestimmung der Alkaligehalte der Einsatzzemente

Alkalien	Zement 1 PZ 35 F mit 0,8 Gew. - % $\text{Na}_2\text{O}$ - Äquiv. angegeben ( Gew. - % )	Zement 2 PZ 35 F mit 1,2 Gew. - % $\text{Na}_2\text{O}$ - Äquiv. angegeben ( Gew. - % )
$\text{Na}_2\text{O}$ - Äquiv.	0,77	1,34

## III. Ermittlung der Betonrezeptur

Aus der Wahl der Zemente und bei Berücksichtigung von Vergleichsbetonen mit alkaliunempfindlichen ( "inerten" ) Zuschlägen ergeben sich insgesamt acht verschiedene Betonrezepturen.

In Tabelle 3 sind die verwendeten Betone in ihrer stofflichen Zusammensetzung dargestellt.

Tabelle 3 Verwendete Betonrezepturen

Merkmal	Varianten							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Zement	PZ 35 F							
Na <sub>2</sub> O - Äquivalent /Gew. - %/	0,77				1,34			
Zementgehalt /kg/m <sup>3</sup> Beton/	400		500		400		500	
Varianten /Nr./	1	2	3	4	5	6	7	8
Bezeichnung	Vergleichsv.	Reaktive V.						
Wasser - Zement - Wert	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Sieblinie	BC 16	BC 16						
Anmachwasser /kg/m <sup>3</sup> /	220	220	275	275	220	220	275	275
Zuschlag/kg/m <sup>3</sup> / Gew. - %/								
0,2 mm Wallendorf	835,9/ 50	854,4/ 50	720,5/ 50	728,5/ 50	835,9/ 50	854,4/ 50	720,5/ 50	728,5/ 50
2/ 4 mm Wallendorf	65,1/ 3,9	66,1/ 3,9	56,2/ 3,9	56,8/ 3,9	65,1/ 3,9	66,1/ 3,9	56,2/ 3,9	56,8/ 3,9
Heberndorf	152,2/9,1	-	131,1/9,1	-	152,2/9,1	-	131,1/9,1	-
ÖBling	-	153,9/9,1	-	132,6/9,1	-	153,9/9,1	-	132,6/9,1
4/ 8 mm Wallendorf	95,3/ 5,7	96,3/ 5,7	82,1/ 5,7	83,0/ 5,7	95,3/ 5,7	96,3/ 5,7	82,1/ 5,7	83,0/ 5,7
Heberndorf	222,4/13,3	-	191,7/13,3	-	222,4/13,3	-	191,7/13,3	-
ÖBling	-	225,1/13,3	-	193,8/13,3	-	225,1/13,3	-	193,8/13,3
8/16 mm Wallendorf	90,1/ 5,4	91,2/ 5,4	77,8/ 5,4	78,7/ 5,4	90,1/ 5,4	91,2/ 5,4	77,8/ 5,4	78,7/ 5,4
Heberndorf	210,8/ 12,6	-	181,6/ 12,6	-	210,8/ 12,6	-	181,6/ 12,6	-
ÖBling	-	212,9/ 12,6	-	183,5/ 12,6	-	212,9/ 12,6	-	183,5/ 12,6
Zuschlag /kg/m <sup>3</sup> /	1671,8	1690,9	1441,0	1456,9	1671,8	1690,9	1441,0	1456,9
Frischbetonrohddichte theoretisch <sup>1)</sup> r <sub>r</sub> /kg/m <sup>3</sup>	2291,8	2310,9	2216,0	2231,9	2291,8	2310,9	2216,0	2231,9

<sup>1)</sup> unter Annahme von 20 dm<sup>3</sup> Frischbetonporenvolumen

#### 4. Untersuchungen und Ergebnisse

##### 4.1 Frisch - und Festbetonrohddichte

Die Ergebnisse der Prüfungen sind in folgender Tabelle dargestellt. Das Ausbreitmaß wurde 10 min nach Beendigung des Mischens bestimmt.

Tabelle 4 Ergebnisse der Frisch - Festbetonprüfungen der Versuchsrezepturen

Variante	Zementgehalt	Frischbetonprüfungen				Festbetonprüfungen			
	Na <sub>2</sub> O - Äquiv.	Rohdichte	Ausbreitmaß	Konsistenz	LP - Gehalt	Druckfestigkeit nach 28 Tagen			
	<u>/kg/cm<sup>3</sup>/</u> Gew. - %	<u>/kg/dm<sup>3</sup>/</u>	<u>/cm/</u>		<u>/Vol - %/</u>	W150 <u>/N/mm<sup>2</sup>/</u>	BW 200 <u>/M/mm<sup>2</sup>/</u>	BW20 <sup>±</sup> s <u>/N/mm<sup>2</sup>/</u>	
1	<u>400</u> 0,77	2.30				36.9	35.1		
		2.32	2.31	38/41	KP	1.76	39.1	37.1	35.6 ± 1.3
		2.31					36.4	34.6	
2	<u>400</u> 0,77	2.35				38.2	36.3		
		2.35	2.35	39/39	KP	1.79	36.4	34.6	34.1 ± 2.5
		2.34					33.1	31.4	
3	<u>500</u> 0,77	2.29				38.3	36.4		
		2.30	2.30	73/74	>KF	1.12	38.7	36.8	35.1 ± 2.5
		2.30					33.9	32.2	
4	<u>500</u> 0,77	2.31				28.6	27.2		
		2.35	2.33	65/69	>KF	0.95	34.0	32.3	30.5 ± 2.9
		2.32					33.8	32.1	
5	<u>400</u> 1,34	2.30				34.0	32.3		
		2.33	2.32	41/42	KP/KR	1.79	34.2	32.5	32.1 ± 0.5
		2.32					33.3	31.6	
6	<u>400</u> 1,34	2.35				33.3	31.6		
		2.33	2.34	41/44	KR	1.90	32.0	30.4	30.7 ± 0.8
		2.33					31.6	30.0	
7	<u>500</u> 1,34	2.29				30.5	29.0		
		2.29	2.30	71/73	>KF	0.78	31.1	29.5	28.9 ± 0.7
		2.31					29.7	28.2	
8	<u>500</u> 1,34	2.28				30.0	28.5		
		2.29	2.29	70/71	>KF	1.52	30.2	28.7	29.2 ± 1.7
		2.31					31.9	30.3	

Die visuellen Kontrollen an den Würfeln mit 30 cm Kantenlänge wurden parallel zu den Terminen der Dehnungsmessungen an Balken durchgeführt. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse dieser Kontrollen mit dem Zeitpunkt des Schadenseintritts dargestellt.

Tabelle 5 Ergebnisse der visuellen Kontrollen

Variante V= Vergleichs- variante R= reaktive Varinte	Zementgehalt Na <sub>2</sub> O - Äquiv.  /kg/m <sup>3</sup> / Gew. - %	Alkalispiegel  /g/m <sup>3</sup> Beton/	Schadensbild mit zeitlichem Beginn der Schäden
1 - V	$\frac{400}{0,77}$	3080	—
2 - R	$\frac{400}{0,77}$	3080	—
3 - V	$\frac{500}{0,77}$	3850	—
4 - R	$\frac{500}{0,77}$	3850	—
5 - V	$\frac{400}{1,34}$	5360	—
6 - R	$\frac{400}{1,34}$	5360	Haarrisse, z.T. verheilt Gelausscheidungen Schäden ab 150d Lagerung
7 - V	$\frac{500}{1,34}$	6700	Haarrisse, z.T. verheilt Schäden ab 150d Lagerung
8 - R	$\frac{500}{1,34}$	6700	stark rissig, Rißbreite max. 0,5 mm Schäden ab 150d Lagerung

## 4.2 Dehnungsmessungen unter reaktionsfördernder Lagerung

Die Ergebnisse der Dehnungsmessungen sind in Abb. 1 dargestellt.

## 4.3 Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

### 4.3.1 Frisch - und Festbetonprüfungen

- Mischungen mit hohem Zementgehalt im Beton ( 500 kg/ cm<sup>3</sup> ) bzw. hohem Alkaligehalt des Zementes ( 1,34 Gew. - %, Na<sub>2</sub>O - Äquiv. ), ( Varianten 3, 4, 7, 8 ) besaßen eine extrem fließfähige Konsistenz und neigten permanent zur Entmischung, welche auch die Ursache für die merklich geringeren Festigkeiten einiger Betone ( insbesondere die Varianten 4, 7, 8 ) sein dürfte.
- Die höheren Ausbreitmaße von Mischungen mit alkalireichen Zementen ( 1,34 Gew. - %, Na<sub>2</sub>O - Äquiv. ) im Vergleich mit Betonen unter Verwendung alkaliärmerer Zemente ( 0,77 Gew. - %, Na<sub>2</sub>O - Äquiv. ) ist auf die verflüssigende Wirkung der Zementalkalien zurückzuführen.

### 4.3.2 Visuelle Kontrollen der Probekörper

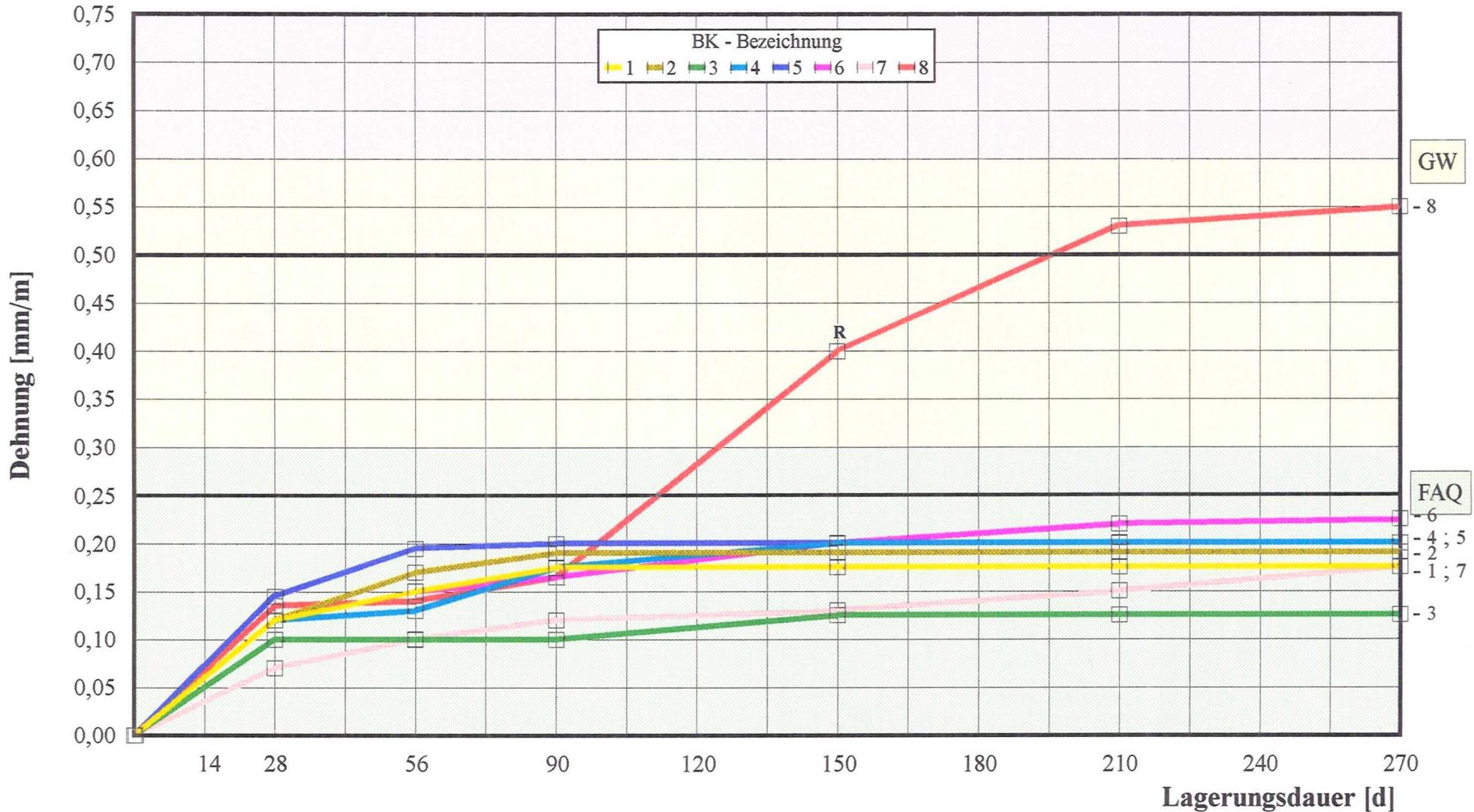
- Betone unter Verwendung von "Inertmaterial" waren fast alle ausnahmslos ungeschädigt, nur Variante 7 ( 500 kg Zement/ m<sup>3</sup> Beton; 1,34 Gew. - % Na<sub>2</sub>O - Äquiv. ) zeigte beim Würfel mit 30 cm Kantenlänge geringfügige Schädigungen.
- Betone mit Grauwackensplitt wiesen schon ab 5360 g Alkalien/ m<sup>3</sup> Beton deutliche Schäden auf, die mit weiter zunehmenden Alkalispiegel im Beton stark zunahmen.
- Gelausscheidungen an der Oberfläche der Prüfkörper waren mit Ausnahme der geringfügigen Gelausbildungen bei Variante 8 nicht zu erkennen.
- Ribbildungen traten mit Ausnahme von Variante 8 nur an den Würfeln mit 30 cm Kantenlänge auf und waren nach 150d festzustellen.

# Dehnungsdiagramm Grauwackenringversuch

- - schwache Gelausbildung
- - stärkere Gelausbildung
- - starke Gelausbildung

- AW - Auswachsungen über reaktiven Körnern
- AP - Ausplatzungen über reaktiven Körnern
- R - Rißbildung

- FAQ - Feuchteausgleichsquelle
- GW - Dehnungsgrenze für ungeschädigten Beton



#### 4.3.3 Dehnungsmessungen

- Die Ergebnisse der Dehnungsmessungen korrelieren gut mit den visuellen Prüfungen bezüglich
  - des Zeitpunktes des Schadenseintrittes ( Rißbildungen )
  - der verwendeten Betonrezeptur
- Der Stand der Untersuchungen läßt folgende Schlußfolgerungen zu:
  - Grauwackensplitt der Lagerstätte Oßling erweist sich bei entsprechend hohem Alkaligehalt im Beton (  $\geq 5360$  g Alkalien/cm<sup>3</sup> ) unter humiden Bedingungen als betonschädigend alkalireaktiv.
  - Die Alkali - Zuschlag - Reaktion ( AZR ) zwischen der Grauwacke und den Zementalkalien unterscheidet sich jedoch von der "klassischen AKR" in ihrem zeitlich verspäteten Einsetzen, ihren geringen Gelbildungen und dem begrenzten Ausmaß der auftretenden Schäden.

#### 5. Weiters Vorgehen

Bis zum Abschluß des Versuchsprogrammes April 1992 werden neben den vertraglich gebundenen Leistungen folgende Untersuchungen vorgeschlagen:

1. Messung der Probekörper bis Dehnungsende und Einarbeitung der Ergebnisse in den Abschlußbericht
2. Übergabe je eines Zwischenberichtes zwecks Anfertigung eines gemeinsamen Abschlußberichtes an das VDZ Institut Düsseldorf und die MPA Eckernförde ( ist mit Begleitschreiben vom 27.10.1992 erfolgt )
3. Fotodokumentation der Probekörper siehe Zwischenbericht, da unverändert, bitte zu diesem Abschlußbericht hinzufügen
6. Zwischenabrechnung ( Zitat aus Zwischenbericht )

"Das Institut für Baustoffe Weimar erhielt nach § 7, Absatz 2 des Vertrages vom 09.07.1992 zwischen dem Institut für Bautechnik Berlin und der forschenden Stelle nach Vertragsabschluß einen Teilbetrag in Höhe von 5000,- DM. Der Betrag ging am 25.07.1991 auf das Konto der forschenden Stelle ein. In Abstimmung mit dem IfBt ( s. Anlage 1 zum Werkvertrag vom 03.04.1991 ) ist nach Vorlage des Zwischenberichtes bis 12/1991 ein Betrag in Höhe von 2000,- DM an das Institut für Baustoffe zu überweisen.

Die entsprechend Vertrag zur Verfügung gestellten Mittel sind verbraucht. Ein Kauf von Geräten zur Realisierung der Forschung war nicht nötig."



Abb.1 (Neg. 15), V 8, Seitenfläche; 390 d  
Rißweiten bis 0,60 mm



Abb.2 (Neg. 16), V 8, Seitenfläche; 390 d  
Netzrisse



Abb. 3 (Neg. 17), V 8, Seitenfläche, 390 d  
Netzrisse; RW bis 0, 60 mm



Abb. 4 (Neg. 18), V 8, Seitenfläche; 390 d  
Rißweiten bis 0, 60 mm



Abb. 5 (Neg. 19), V 8, Kopffläche, 390 d  
Rißweiten bis 0,60 mm



Abb. 6 (Neg. 20), V 8, wie Abb. 5



Abb. 7 (Neg. 21), V 8, Basisfläche, 390 d  
Netzrißsystem



Abb. 8 (Neg. 22), V 8, Seitenfläche, linke  
Kante zur Oberseite gehörig; 390 d  
Netzrißsystem



Abb. 9 (Neg. 23), V 8, Seitenfläche, rechte Kante zur Oberseite gehörig; 390 d Netzrißsystem



Abb.10 (Neg. 24), V 8, Basisfläche (wie Abb. 7, aber weiter abgetrocknet), 390 d Netzrißsystem

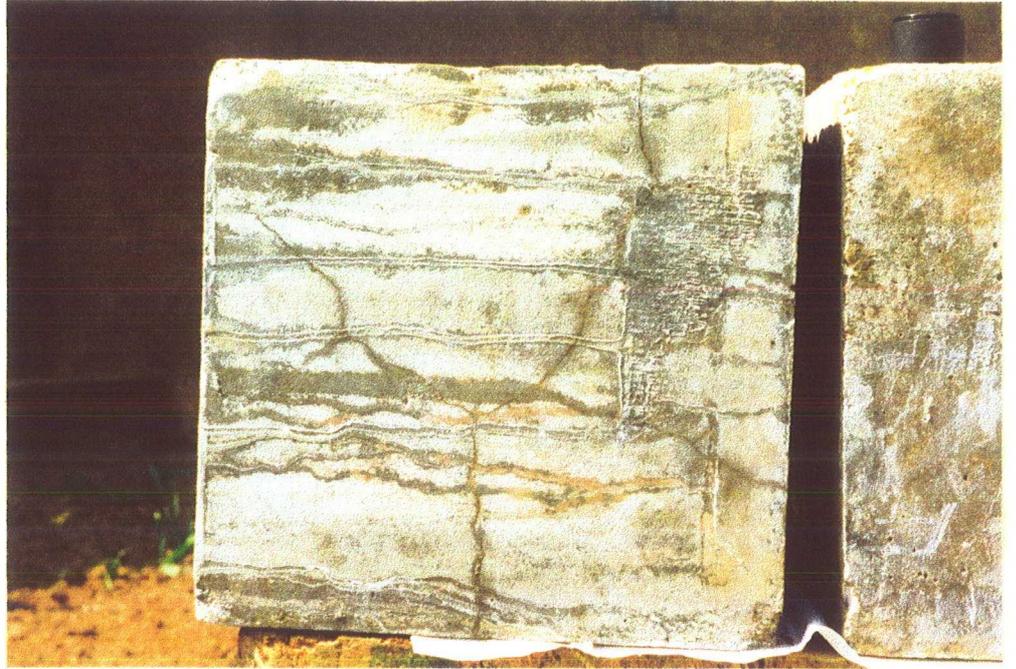


Abb. 11 (Neg. 25), V 8, Seitenfläche, Oberkante zur Oberseite gehörig; 390 d Netzrißsystem, RW bis 0, 60 mm



Abb. 12 (Neg.30 ), V 8, Seitenfläche, obere Kante zur Oberseite gehörig; 390 d Netzrißsystem



Abb. 13 (Neg. 31), V 8, Oberseite, 390 d  
(wie Abb. 5 und 6, aber nach  
nach weiterem Abtrocknen);  
Netzrißsystem, RW bis 0, 60 mm

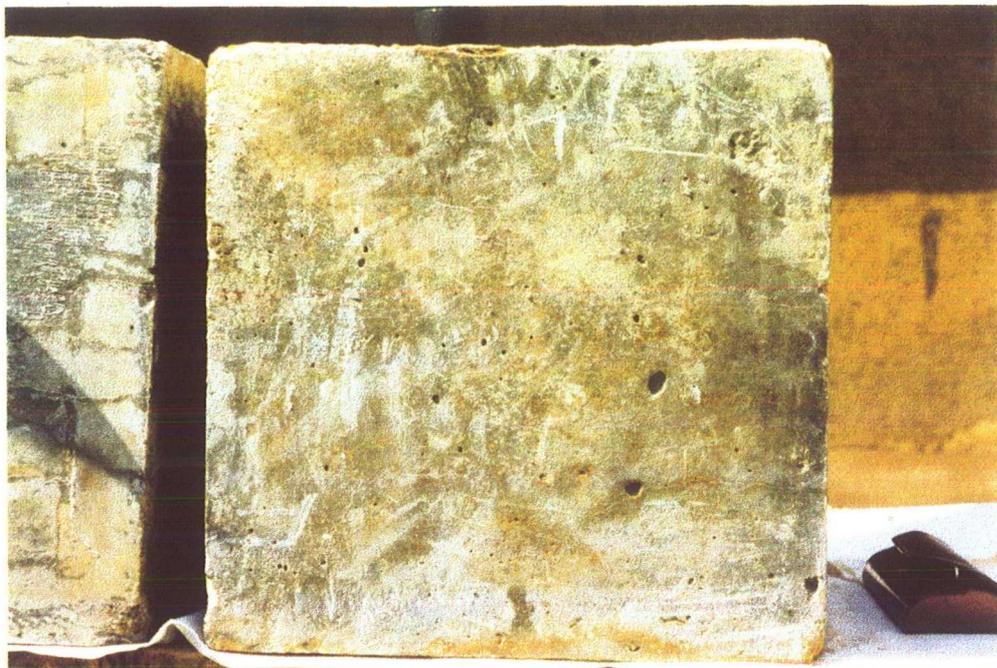


Abb. 14 (Neg. 26), V 6, Seitenfläche, obere Kante zur Oberseite gehörig, 390 d feine Netzrisse, vorwiegend verheilt



Abb. 15 (Neg.27), V 6, Seitenfläche gegenüber Abb. 14, obere Kante zur Oberseite gehörig 390 d; feine Netzrisse, vorwiegend verheilt



Abb. 16 (Neg. 28), V 6, Oberseite, 390 d  
links von Bildmitte: Tw. verheiltes  
Riß (max. RW 0, 2 mm)



Abb. 17 (Neg. 32), V 6, Seitenfläche, 390 d  
Ausschnittvergrößerung; Fertigungslage  
(Oberseite nach oben folgend); Riß  
(Rißweite 0, 2 mm)



Abb. 18 (Neg. 33), V 6, Seitenfläche wie Abb. 17  
390 d; verheilte, netzförmige Haarrisse  
(Ausschnittvergrößerung)



Abb. 19 (Neg. 34), V 6, wie Abb. 18, 390 d



Abb. 20 (Neg. 35), V 6, wie Abb. 17 ... 19;  
390 d; z. T. verheilte Riß,  
RW 0, 2 mm