
Einsatz von Zementen auf Calciumaluminatbasis im Untertagebau

CEMENTS ON CALCIUM-ALUMINATE BASIS IN TUNNELING

DIPL.-ING. GUNNAR RUFFERT, LAFARGE TONERDEZEMENT GMBH, DUISBURG

Um den Anforderungen des modernen Untertage- und Tunnelbaus zu entsprechen, werden für bestimmte Anwendungen Sonderzemente eingesetzt. Eine Möglichkeit dazu bieten Bindemittel auf Basis von Calciumaluminaten.

Unsere Firma stellt eine ganze Reihe dieser Bindemittel her, von denen einige Produkte im Tunnelbau seit mehreren Jahren erfolgreich eingesetzt werden. Hier sind besonders zu erwähnen:

Fondu Lafarge ist ein Zement mit ca. 40 % Calciumaluminatanteil. Sein größter Vorteil für die Verwendung als Bindemittel im Spritzbeton liegt in der raschen, kontinuierlichen Erhärtung, die selbst dann stetig ansteigt, wenn man einen Beschleuniger zusetzt. Seine Druckfestigkeit nach 24 Stunden entspricht der des Portlandzementes nach 28 Tagen.

LP 2 ist eine Mischung aus Fondu Lafarge und Hochofenschlacke. Es verbindet die Vorteile des Fondu Lafarge (rasche Erhärtung) mit denen der Hochofenschlacke als latent hydraulisches Bindemittel. Versuche an der Universität Bochum haben gezeigt, daß ein Spritzbeton der Güteklasse B 25 ohne Probleme hergestellt werden kann.

Ein weiterer Vorteil dieser Bindemittel ist ihre sehr gute Beständigkeit gegenüber aggressiven, wie z. B.: gegenüber weichen, kohlen säurehaltigen Wässern. So können Auswaschungen des Bindemittels oder der Alkalien aus dem Beschleuniger, die zu den Problemen in den Drainagen führen, weitestgehend vermieden werden.

Aktuelle Projekte sind in Frankreich derzeit 2 Tunnel für den Ausbau des TGV-Netzes. Dabei handelt es sich um die Tunnel La Galaure (2700 m) und Limeil-Brévannes (1400 m).

Es zeigt sich also, daß Zement auf Calciumaluminatbasis für bestimmte Anwendungsfälle eine Alternative zu den herkömmlichen Bindemitteln für Spritzbeton im Rahmen der temporären Sicherung beim Tunnelvortrieb ist.

In order to meet the requirements of modern tunneling and underground construction operations, special cements are being used for certain applications. Binders on calcium-aluminate basis come in useful here.

Our company produces a number of such binders, some of which have successfully been employed in tunneling for several years. The following products are particularly worth mentioning:

Fondu Lafarge is cement with a calcium-aluminate content of some 40 %. Its major advantage when being used as a binder in shotcrete derives from its rapid, continuous strength development, which continues to increase even if an accelerator is added. Its 24-hour compressive strength corresponds to

the value obtained with Portland cement after 28 days.

LP 2 is a mixture of Fondu Lafarge and blast furnace slag. It combines the advantages of Fondu Lafarge (rapid hardening) with those of blast furnace slag as a latent hydraulic binder. Tests at Bochum University have shown that grade B 25 shotcrete can be produced without any problems.

Another advantage of these binders is their strong resistance to aggressive i.e. and soft, carbon dioxide containing water. This allows to largely avoid leaching of the binder or of the alkalis from the accelerator tending to cause problems in drainage systems.

Current projects include two tunnels of the TGV high-speed railway network in France, the La Galauze Tunnel (2700 m) and the Limeil-Brévannes Tunnel (1400 m).

It can thus be demonstrated that cement on calcium-aluminate basis in certain fields of application constitutes an alternative to traditional binders for shotcrete used as temporary support during tunnel driving.

1. Was sind Aluminatzemente?

Aluminatzement ist ein hydraulisches Bindemittel, welches hauptsächlich aus Calciumaluminat besteht. Rohstoffe hierfür sind Bauxit und Kalkstein. Er enthält im Gegensatz zu Portlandzement nur einen geringen Anteil an Silikaten. Die Herstellung durch Fusion ergibt einen Zement mit folgender chemischer Zusammensetzung (Tabelle 1).

Hauptbestandteile in %				
	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃ + FeO
Mittelwert	38 - 40	37 - 39	3,5	15 - 18
Grenzwert	> 37	< 41	< 6	< 18,5

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung des Fondu-Lafarge-Zementes

Bei Lafarge wird dieser Zement Fondu Lafarge genannt. Er wird sowohl im Hoch- als auch im Tiefbau eingesetzt. Dieser Zement wurde 1908 in den Laboren der Firma Lafarge als Alternative zum Portlandzement erfunden, um mit Sulfaten belasteten Wässern dauerhaft zu widerstehen. Seine schnelle Erhärtung (Tabelle 2) ergibt zudem Vorteile in anderen Anwendungsgebieten.

Prüftermin	6 h	24 h	7 d	28 d
Mittelwerte				
- Biegezug	4,5 - 6,5	6,5 - 8,5	7,5 - 9	8 - 12
- Druck	35 - 45	60 - 70	75 - 85	80 - 95
Grenzwerte				
- Biegezug	>4	>5,5	>6,5	>7,5
- Druck	>30	>50	>65	>75

Tab. 2: Festigkeitsentwicklung des Fondu-Lafarge-Zementes in N/mm²

Heutzutage verwendet man diesen Zement bei Untertagearbeiten, entweder als Bindemittel für die temporäre Sicherung bei der Methode des mechanischen Vorschnittes, oder als Komponente im Hinterfüllmörtel, der hinter die Tübbinginjiziert wird.

2. Einsatz von Calciumaluminatzementen bei der Methode des mechanischen Vorschnittes

Die Methode besteht aus dem Herstellen eines Ringspaltes über dem eigentlichen Tunnelprofil und dem Verfüllen dieses Ringspaltes mit Beton, um so eine provisorische temporäre Sicherungsschale herzustellen.

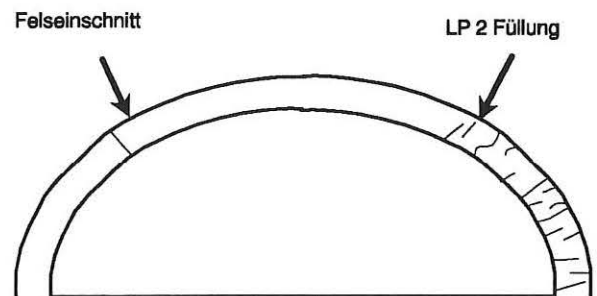


Bild 1: Schematische Darstellung einer Ring-spaltverfüllung als provisorische Sicherungsschale

Diese Methode wird in Frankreich, Italien und Spanien seit 1975 angewendet und es sind bisher 19 Tunnel und Stollen so hergestellt worden.

Um die Leistungsfähigkeit dieser Methode zu steigern, ist es notwendig, so rasch als möglich den Gewölbeausbruch herzustellen. Ist der Ringspalt hergestellt, so wird dieser Hohlraum

mit Spritzbeton im Trockenspritzverfahren unter der Verwendung von Fondu Lafarge als hydraulisches Bindemittel ausgefüllt.

Je nach den örtlichen Anforderungen, und um die Kosten für den Spritzbeton zu minimieren, wird nicht nur reiner Fondu Lafarge verwendet, sondern auch eine Mischung aus Fondu Lafarge und Fonslag, LP 2 genannt. Fonslag ist ein Füller auf Schlackenbasis. In der Regel ist das Mischungsverhältnis Fondu Lafarge 60 % und 40 % Fonslag. Dieses Mischungsverhältnis kann sich aber je nach den gegebenen geologischen Verhältnissen und der Notwendigkeit einer schnelleren Erhärtung des Spritzbetons ändern. Dabei wird der Anteil Fondu Lafarge zunehmen.

Momentan werden 2 Tunnel im Rahmen der Neubaumaßnahmen für die Hochgeschwindigkeitszüge (TGV) mit der Methode des mechanischen Vorschnittes und unter der Verwendung von LP 2 in Frankreich hergestellt.

- Tunnel "La Galaure" zwischen Lyon und Valence mit einer Gesamtlänge von 2700 m
- Tunnel "Limeil-Brévannes" im Südosten von Paris mit einer Gesamtlänge von 1400 m

In beiden Fällen verlangt der Auftraggeber (SNCF) folgende Festigkeitswerte:

8 N/mm² nach 4 h,
24 N/mm² nach 24 h.

Die Ausgangsmischung des Spritzbetons enthielt 350 kg Bindemittel LP 2.

Versuche an Probekörpern wurden mit folgender Mischungszusammensetzung vorgenommen:

LP 2	350 kg
Wasser	168 l
Sand 0 - 5	1.062 kg
Kies 4 - 10	848 kg

Die Festigkeitswerte, gemessen an 4x4x16 cm Prismen, sind in Tabelle 3 dargestellt.

Alter	Festigkeit in [N/mm ²]	
	Druck	Biegezug
4 h	11,9	2,3
6 h	26,7	3,7
24 h	41,2	5,6

Tab. 3: Biegezug- und Druckfestigkeiten der Ausgangsmischung für die Tunnels La Galaure und Limeil- Brévannes

An der Universität Bochum durchgeführte Versuche ergaben folgende Festigkeitswerte (Bild 2):

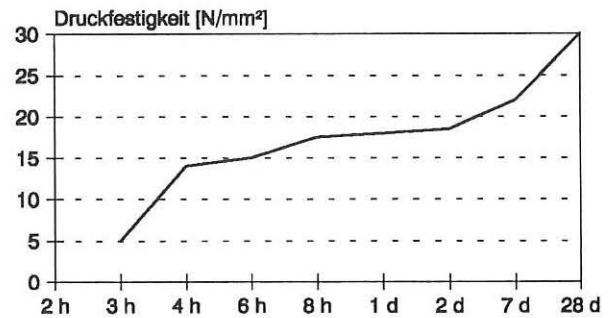


Bild 2: Festigkeitsentwicklung des Spritzbetones (Bohrkerne) mit 350 kg/m³ LP 2, Versuche Uni Bochum

Der Ringspalt hat eine Tiefe von jeweils ca. 4 Metern. Durch das Trockenspritzverfahren bedingt kann es zu einer Inhomogenität in dem festen Spritzbeton kommen. Deshalb kommt es bei diesem Verfahren sehr auf die Erfahrung und das Können des Düsenführers an. Die Düse sollte möglichst weit in den Ringspalt eingeführt werden, um so einen gleichmäßigen Spritzbeton herzustellen.

Eine andere Art, diese Schwierigkeiten zu umgehen, ist die Möglichkeit, den Spritzbeton im Naßspritzverfahren einzubringen. Im Gegensatz zum Trockenspritzverfahren benötigt man aber dafür den Zusatz einer Verzögerer/Verflüssiger-Kombination sowie die Zugabe eines Beschleunigers an der Düse. Derzeit werden Versuche unternommen, diese Methode zu verbessern. Dies erfolgt im Rahmen eines Eureka-Projektes.

