

# NEU: LOGISTIC FITTING MODULE (LFM)

## Diskussion von Ultraschall-Laufzeitkurven

**Logistic Fitting ist eine neu entwickelte Methode, um mehr Informationen aus Ihren Ultraschallmessungen herauszulesen. Das Logistic Fitting Module für UltraTest Lab fittet eine logistische Summenfunktion an eine gemessene Laufzeitkurve an und ermöglicht eine mathematische Ableitung nach der Zeit. Einzelterm-betrachtungen der Summenfunktion liefern Informationen über einzelne Prozesse während des Aushärt-vorgangs Ihrer Rezepturen.**

### Was macht das LFM?

In einem komplexen, mathematischen Prozess wird eine ableitbare Summenfunktion aus logistischen Termen an eine gemessene Laufzeitkurve angeglichen (Fitting). Die dadurch ermöglichten ersten Ableitungen (Schallbeschleunigungen) einzelner Summenterme korrelieren zeitlich mit einzelnen physikalischen und chemischen Prozessen während des Abbindevorgangs. Mittels der Kurvendiskussion (Analysis) werden Kenndaten dieser Prozesse errechnet. Die gemessene Schallgeschwindigkeitskurve wird in mehrere Abschnitte unterteilt. An jeden dieser Abschnitte wird ein logistischer Term präzise angepasst. Das LFM bestimmt für jeden Term (Prozess) Kenndaten wie Dauer, Zeitpunkt der maximalen Schallbeschleunigung und Beitrag zur Geschwindigkeitsentwicklung.

### Die Theorie

Für die Festigkeitsentwicklung eines abbindenden mineralischen Baustoffes ist das Kristallwachstum von Hydratphasen verantwortlich. Wachstumsprozesse können mathematisch mittels einer logistischen Funktion beschrieben werden. Dies ist aus der Biologie und Ökonomie bereits bekannt. In einem abbindenden

Mörtel finden solche Wachstumsvorgänge vieler verschiedener Hydratphasen zeitlich überlagert statt. Der Beginn und das Ende jedes einzelnen Prozesses spiegelt sich in einer Änderung der Festigkeitsentwicklung über die Zeit wider. Über den dynamischen Elastizitätsmodul ist die Festigkeit eines Werkstoffes mit seiner Schallgeschwindigkeit gekoppelt. Durch das Anfitzen der Summenformel an die Ultraschall-Laufzeitkurve und deren Zerlegung in logistische Einzelterme können letztere auf die Wachstumsprozesse im Mörtel zurückgeführt werden.

### Die Praxis

Die Analyse einer Laufzeitkurve (Abb. 1) eines abbindenden Portlandzementes verdeutlicht die einzelnen, bekannten Stadien der Hydratation. In der Initialperiode bildet sich Ettringit der 1. Generation (A).

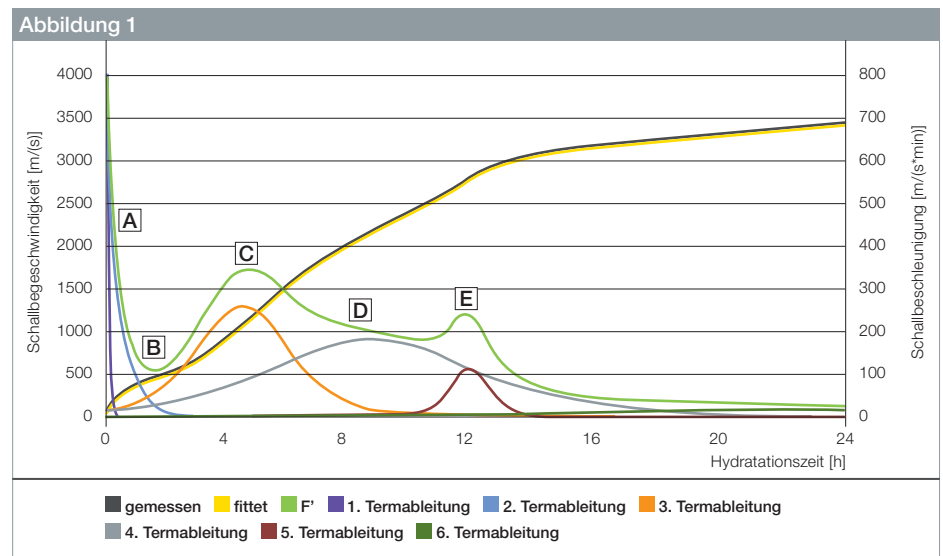
Nach der Ruheperiode (B) folgt die beschleunigte Periode mit der Silikathaupthydratation (C + D). Dieser nachgeschaltet ist die zweite Ettringitbildung (E).

### Qualitätseingangskontrolle

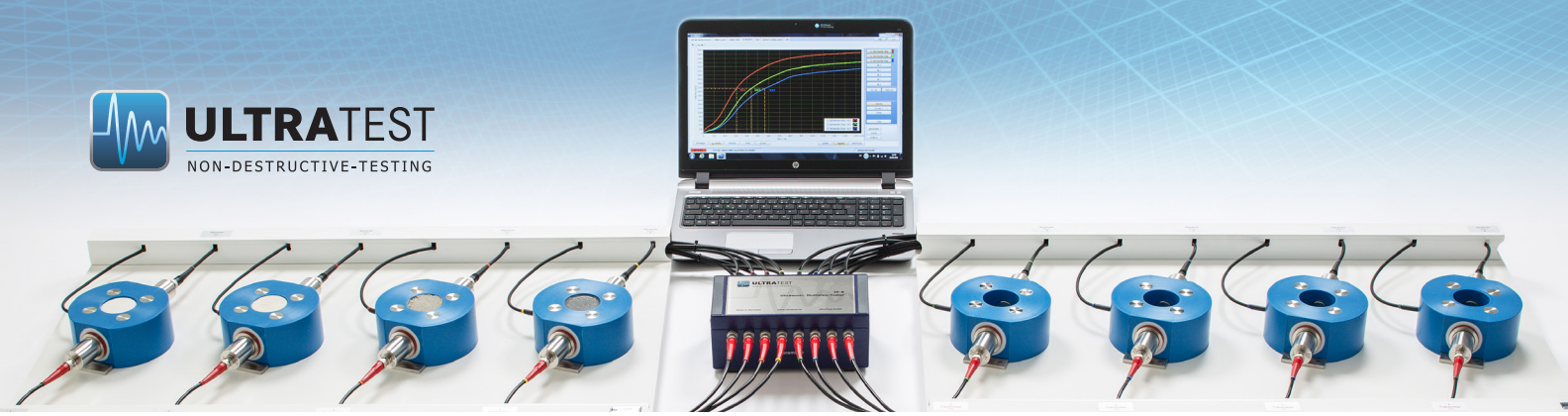
Einzelne Zementchargen (unterschiedliche Produktionszeiträume) zeigen oftmals unterschiedliches Hydratationsverhalten. Das Setzen von Spezifikationen, innerhalb derer sich die Zeitpunkte maximaler Schallbeschleunigung verändern dürfen, bildet hier harte Kriterien für die Qualitätskontrolle.

### Lagerstabilität

Auch die Alterung eines Mörtels macht sich im Abbindeverhalten bemerkbar. Veränderungen können mit dieser Methode sehr gut erfasst und evaluiert werden.



Abbindeverhalten eines Portlandzementes. Darstellung der Laufzeitkurve (schwarz), logistische Summenfunktion (orange), globale Schallbeschleunigung (grün) und Einzeltermableitungen (farbig)



### Was zeigt mir das Programm an?

Ohne weitere Informationen zeigen die Graphiken und berechneten Schlüsselparameter die zeitlichen Verläufe einzelner Prozesse des Abbindevorgangs an, jedoch nicht, um welche Prozesse es sich dabei handelt. Dazu bedarf es komplementärer Analysemethoden, z. B. der Röntgen-diffraktometrie zur quantitativen Phasenbestimmung.

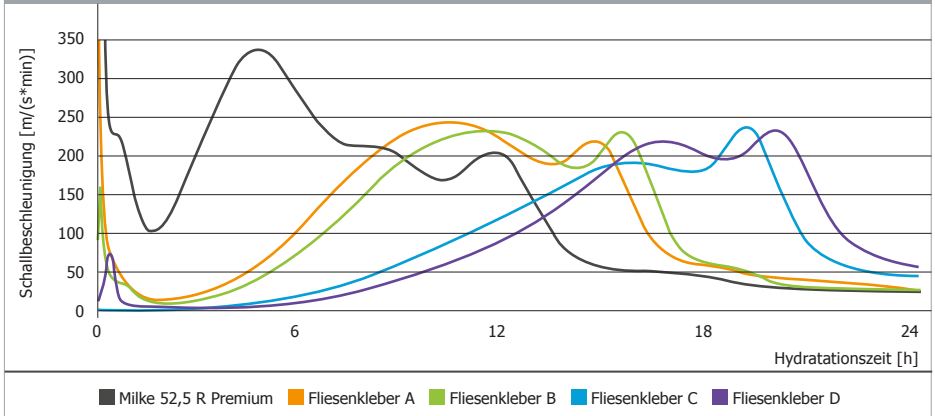
### Additivscreening

Der Vergleich von Messungen (Abb. 2) unterschiedlicher Formulierungen macht den Einfluss der Rezeptur (z. B. durch unterschiedliche Additive) auf die einzelnen Hydratationsprozesse deutlich. Die Veränderung des Zeitpunktes der maximalen Schallbeschleunigung als Schlüsselparameter wird hierbei durch das logistische Fitting erfasst.

### Worin liegt der Vorteil des LFM?

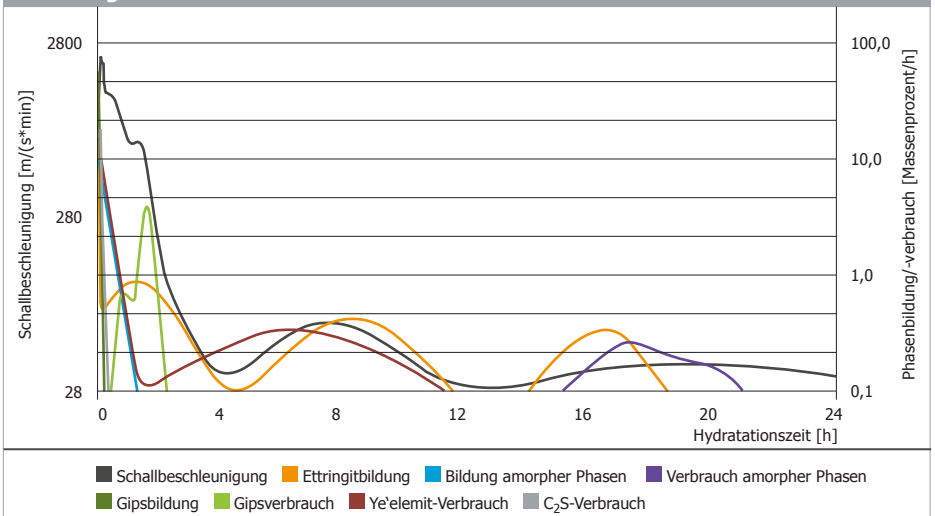
Ultraschallmessungen sind im Vergleich zu anderen Methoden kostengünstig, robust und leicht anwendbar. Sind in einer Grundrezeptur die einzelnen Prozesse erst einmal durch teurere, aufwändigere Komplementärverfahren bestimmt worden (Abb. 3), können weitere Veränderungen durch Additivierung, Alterung oder Qualitätsschwankungen leicht mittels Ultraschallmessungen erfasst werden.

Abbildung 2



Einsatz unterschiedlicher Celluloseether in Fliesenklebern (farbig) im Vergleich zu einer Mörtelgrundmischung ohne Additive (schwarz). Dargestellt sind die jeweiligen Schallbeschleunigungen.

Abbildung 3



Korrelation der globalen Schallbeschleunigung (schwarz) mit der Phasenentwicklung (farbig) eines Sulfo-Aluminatzementes.

### Kooperationspartner

#### UltraTest, Achim

- Hard- u. Software-Entwicklung
- Marketing und Vertrieb

#### Wacker Chemie AG, Burghausen

- Methodenentwicklung

- Software-Entwicklung
- Marketing und Kundens Schulung
- Synchrotron-Messungen
- d:AI:mond, Saarbrücken
- Software-Entwicklung

#### HeidelbergCement, Ennigerloh

- Synchrotron-Messungen

#### Paul Scherrer Institut, Villigen CH

- Synchrotron-Messungen

#### UltraTest GmbH

Am Schmiedeberg 6 | 28832 Achim | DE  
Tel. +49 4202 955 1390  
mail@ultratest.de | www.ultratest.de



**ULTRATEST**  
NON-DESTRUCTIVE-TESTING

Wacker Chemie AG  
Johannes-Hess-Str. 24 | 84489 Burghausen | DE  
Tel. +49 8677 83-0  
www.wacker.com | www.wacker.com/socialmedia

