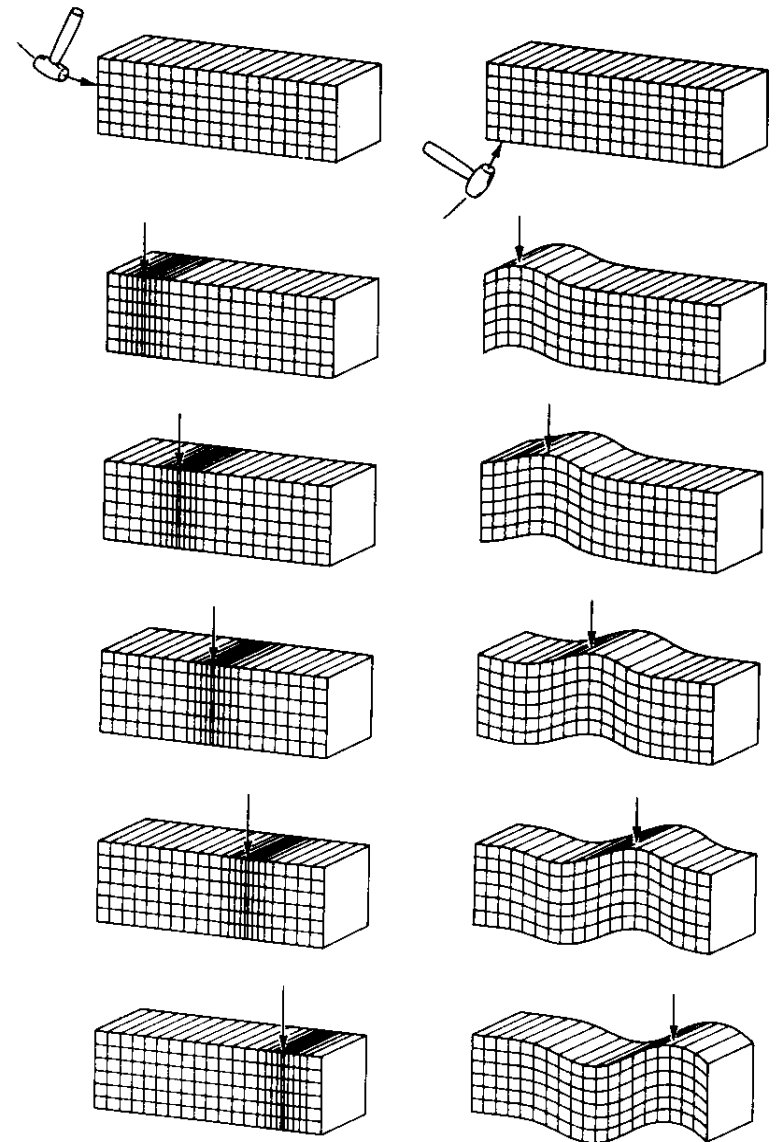
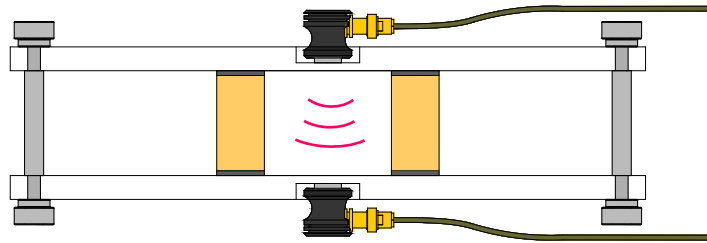


Bestimmung elastischer Materialparameter mit Ultraschall

Markus Krüger

- Verfahrensgrundlagen zur Ultraschallmessung an Frischbeton/-mörtel
- Ultraschallmesssystem und Messdurchführung
- Datenauswertung
- Dateninterpretation und –analyse



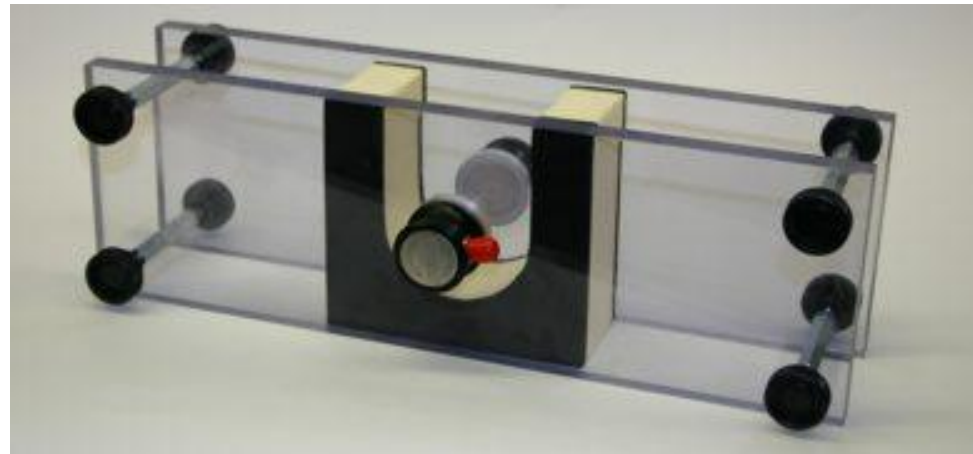
Zementleim / Mörtel

- Sensorabstand 22 mm
- bis Korngröße 4 mm

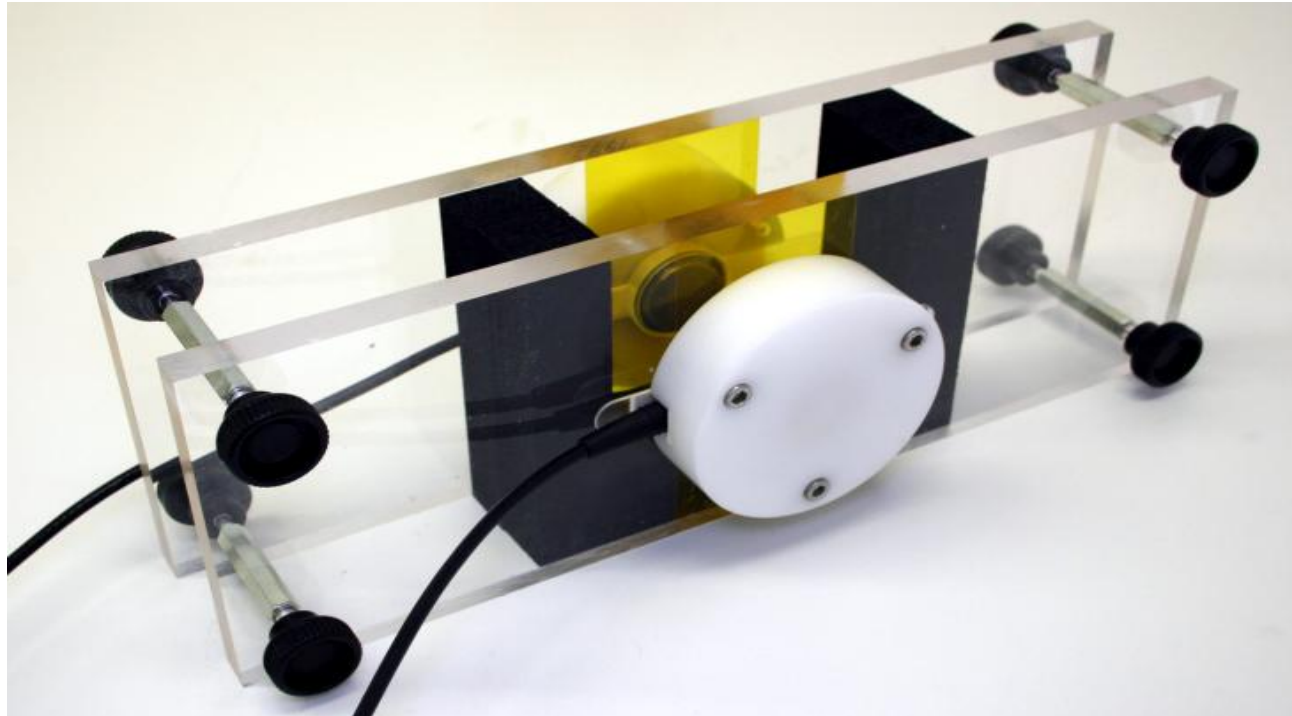


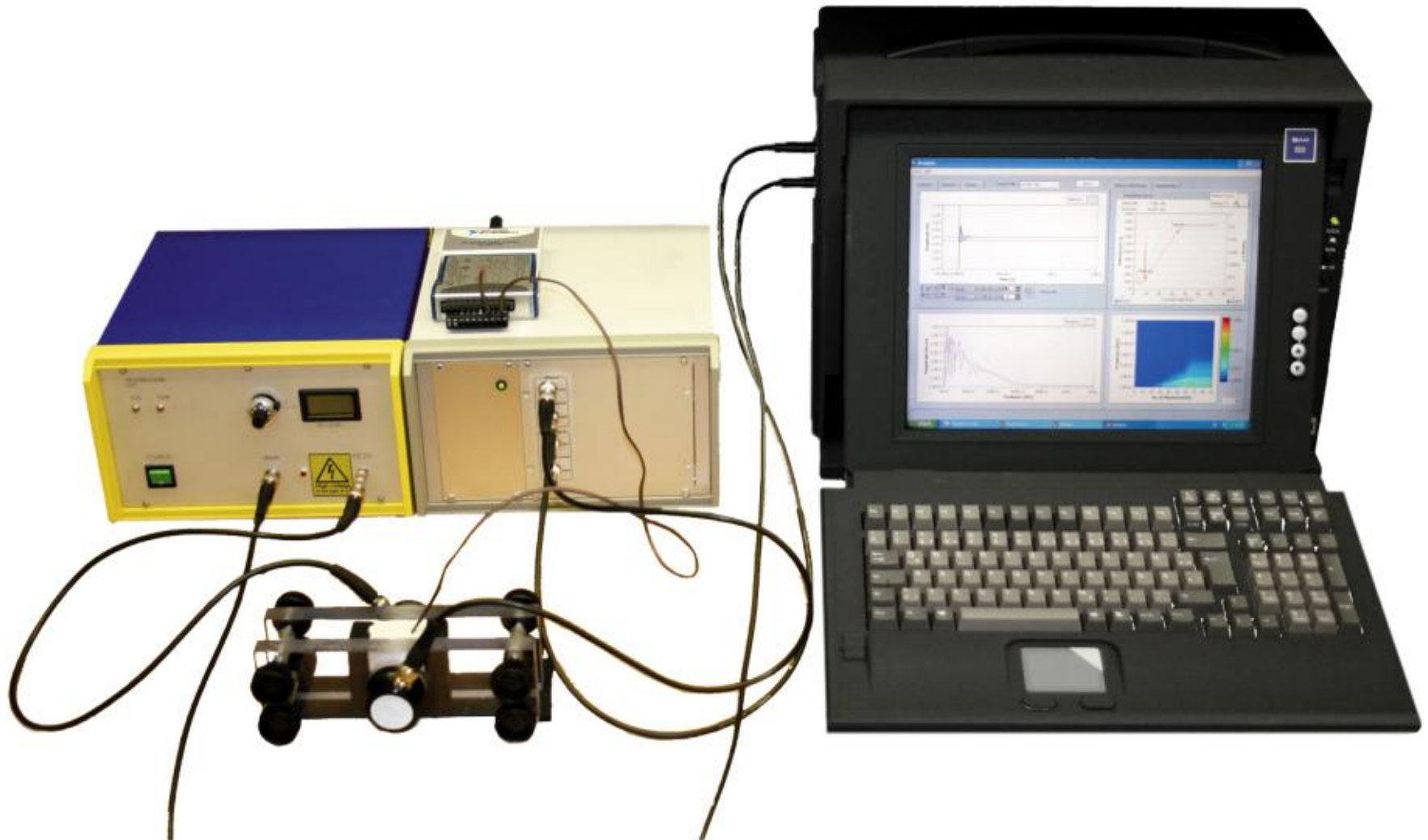
Beton

- Sensorabstand 60 mm
- bis Korngröße 16 mm

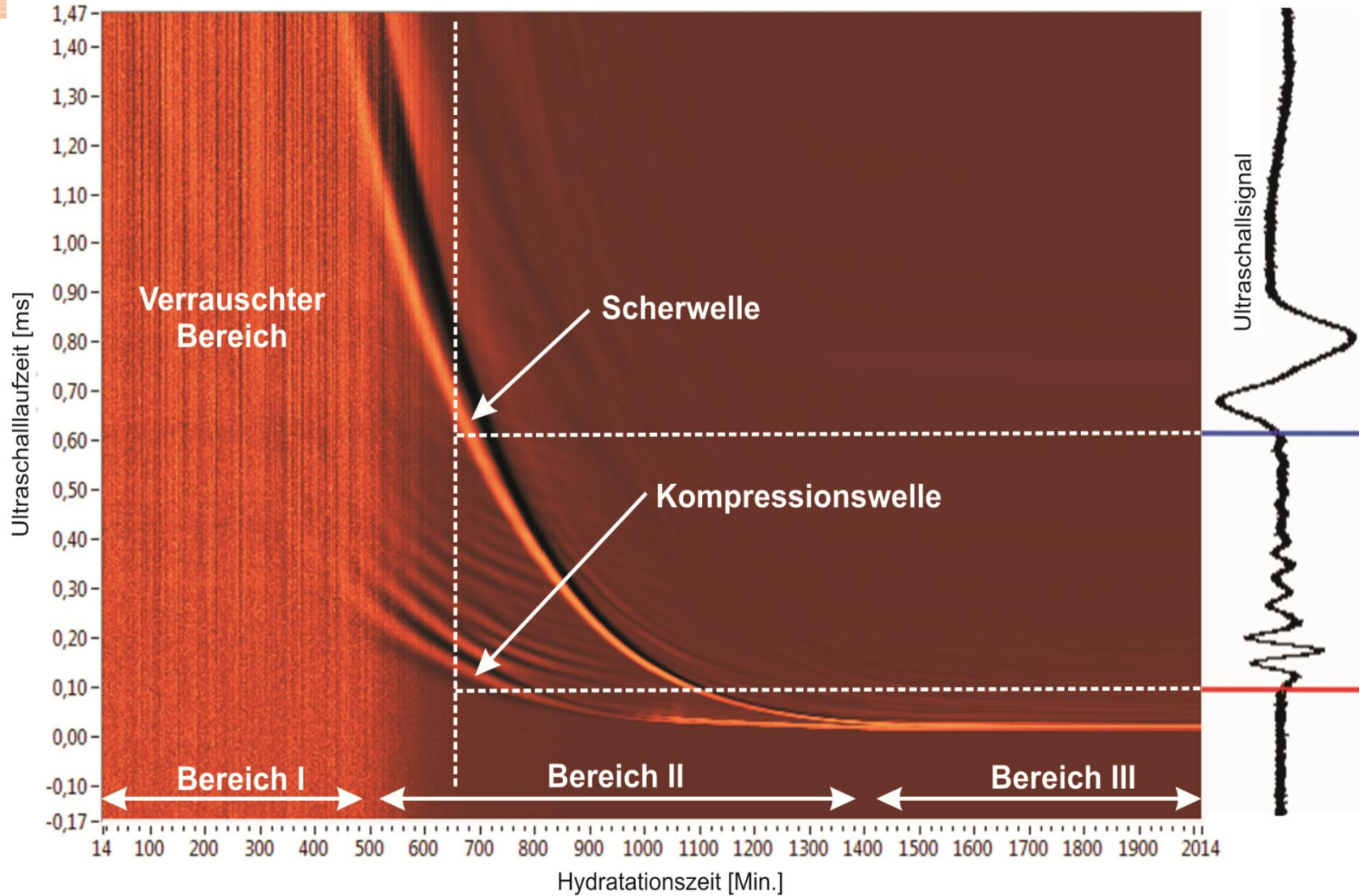


Testgefäß für die kombinierte P- und S-Wellenmessung

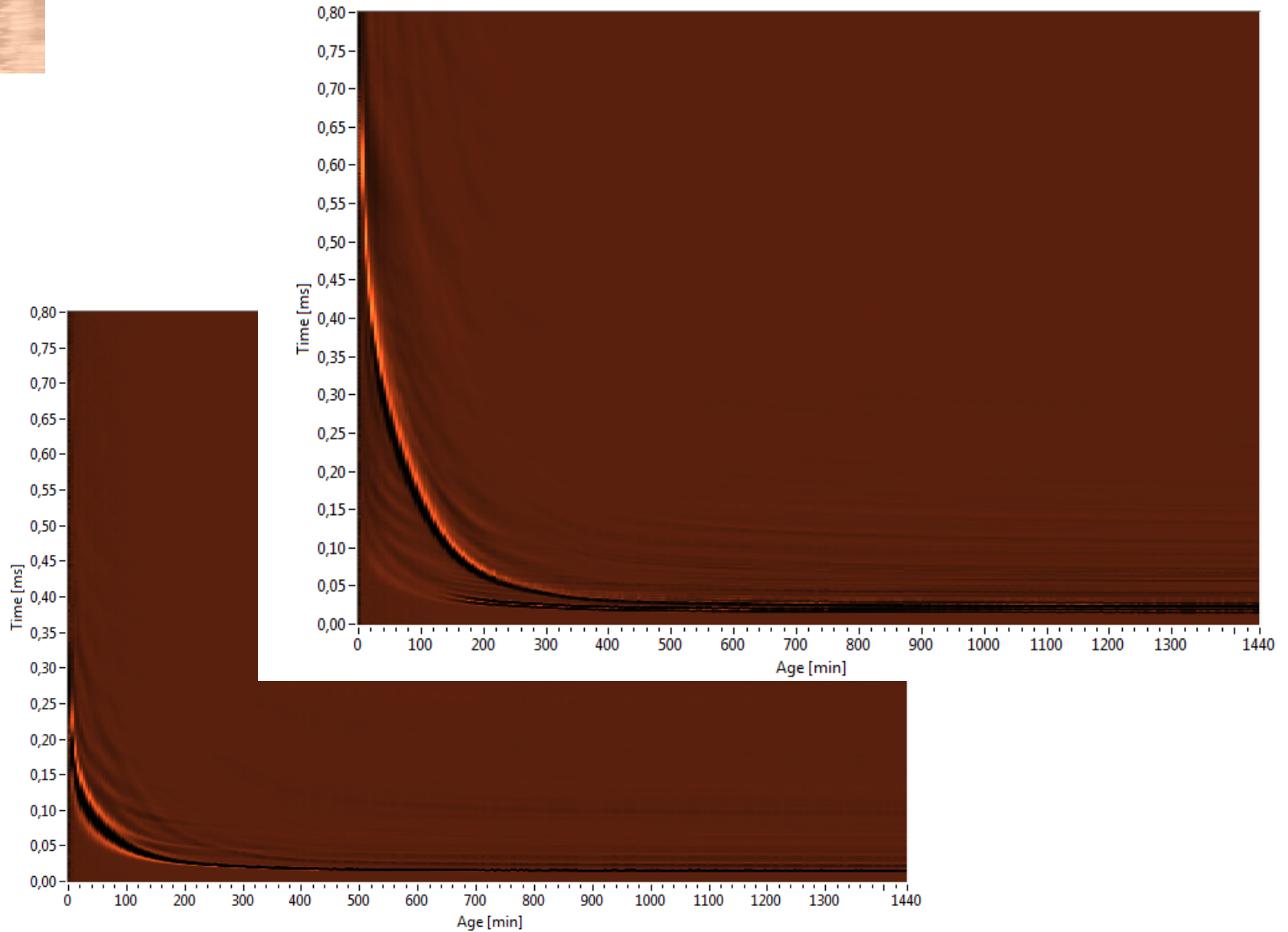




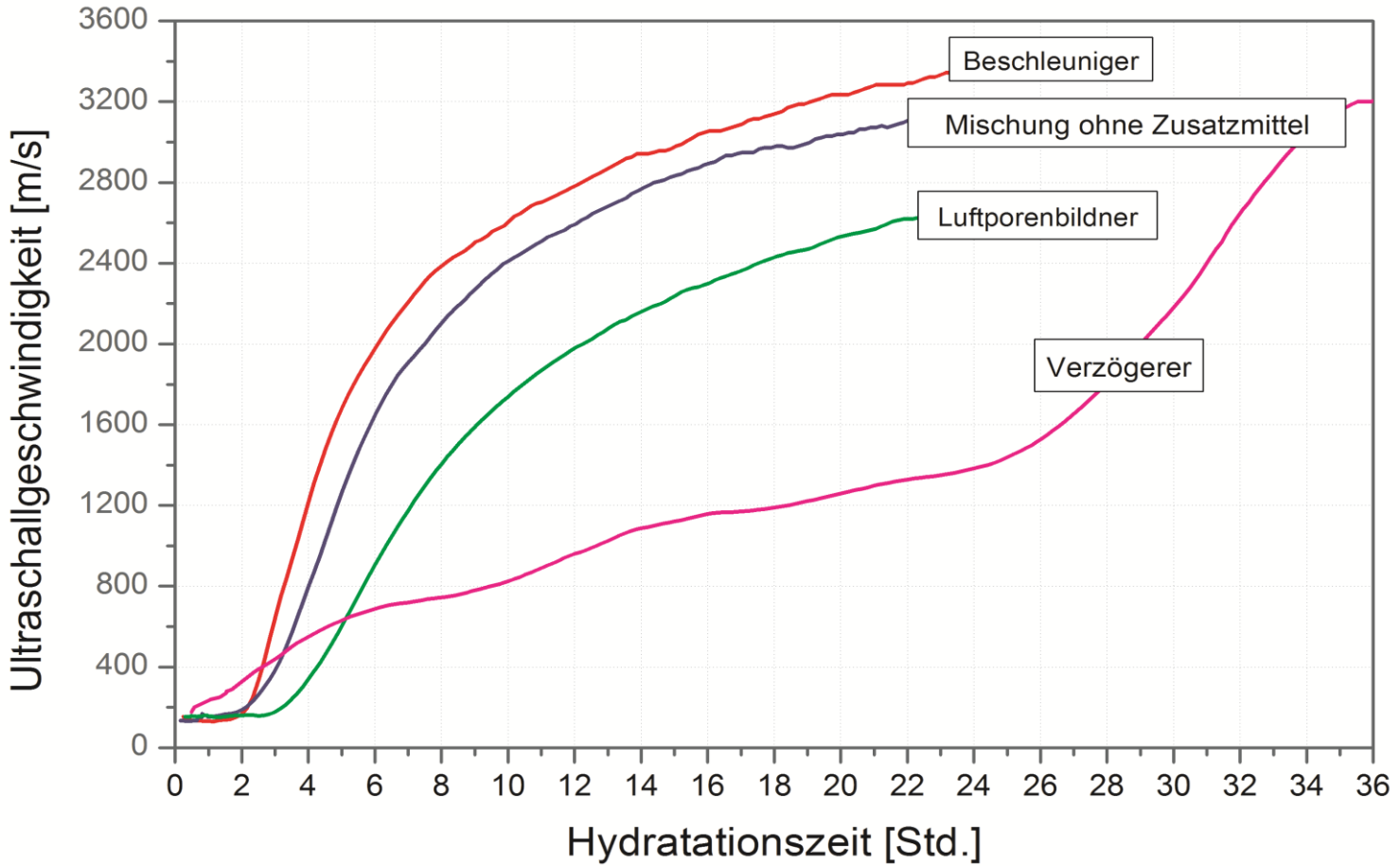
Intensitätsgraph mit normalisierten Ultraschallsignalen (UHPC)



Intensitätsgraph mit normalisierten Ultraschallsignalen (CEM I 52,5 R)



Entwicklung der Kompressionswellengeschwindigkeit während der Hydratation (Beispiel)



■ Charakteristische Materialparameter

- Rohdichte
- Luftporengehalt
- Wasseranspruch
- Erstarrungsbeginn /-ende
- Viskosität
- Elastizität
- Festigkeitsentwicklung



Erkenntnisse aus der
Ultraschallanalyse?

- Querdehnzahl

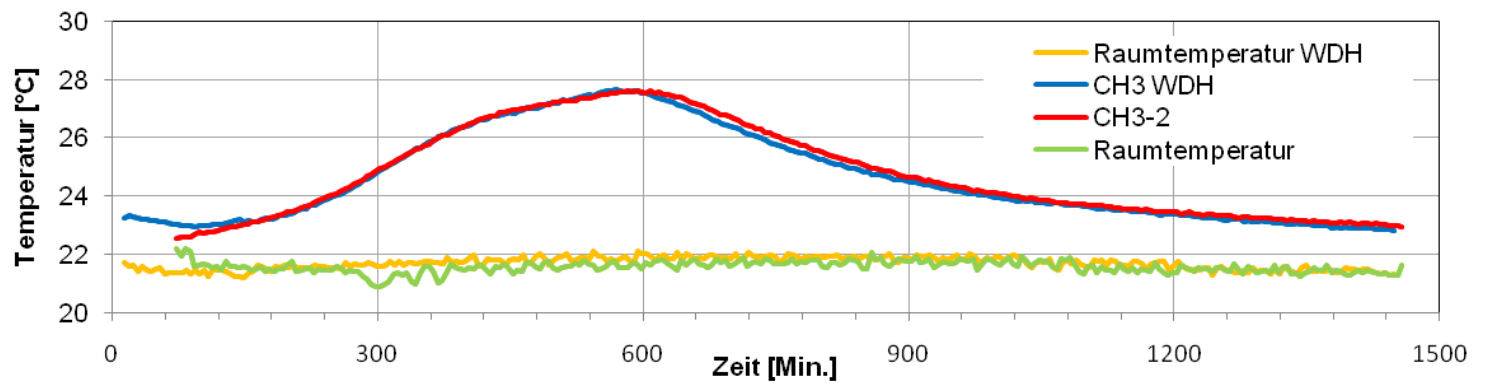
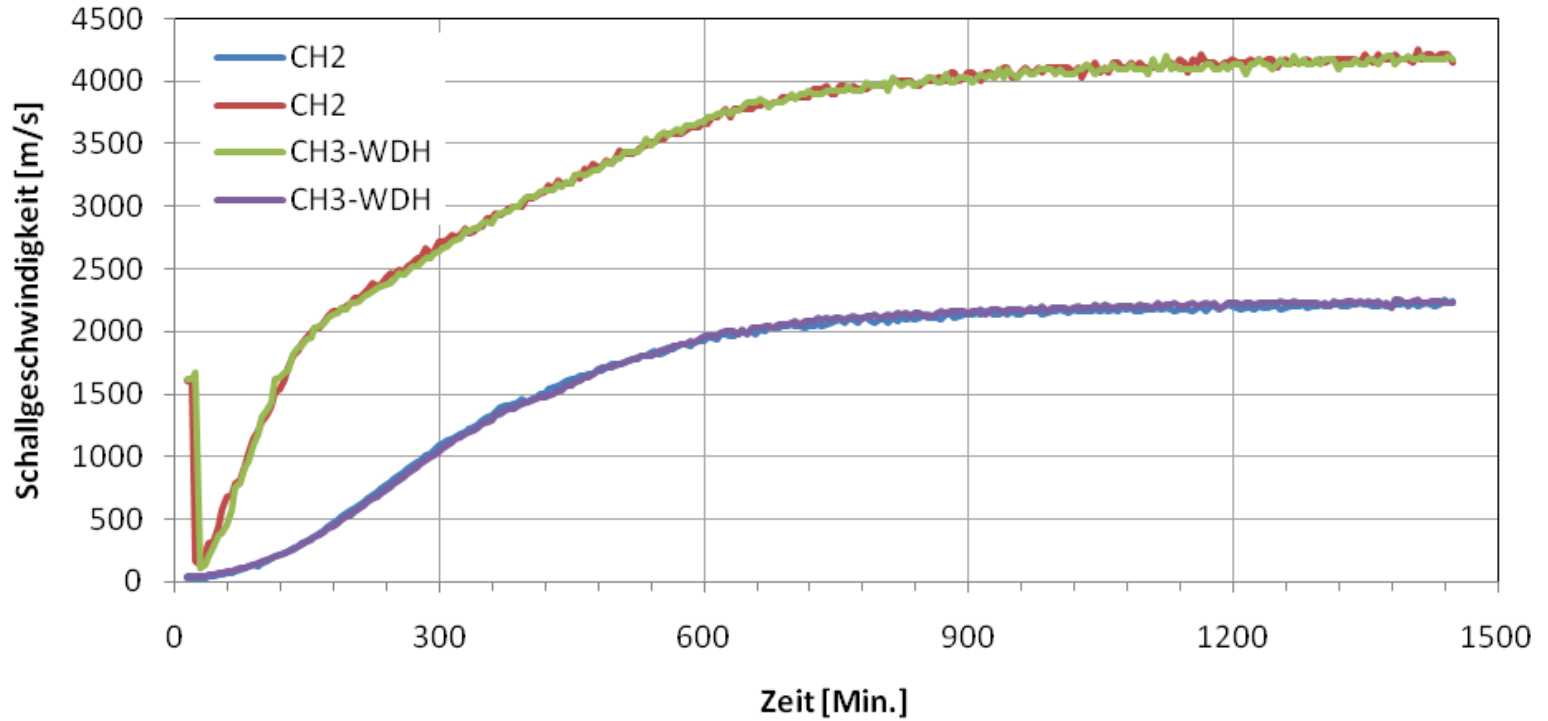
$$\sigma_{dyn} = \frac{\frac{1}{2} \cdot v_p^2 - v_s^2}{v_p^2 - v_s^2}$$

- E-Modul

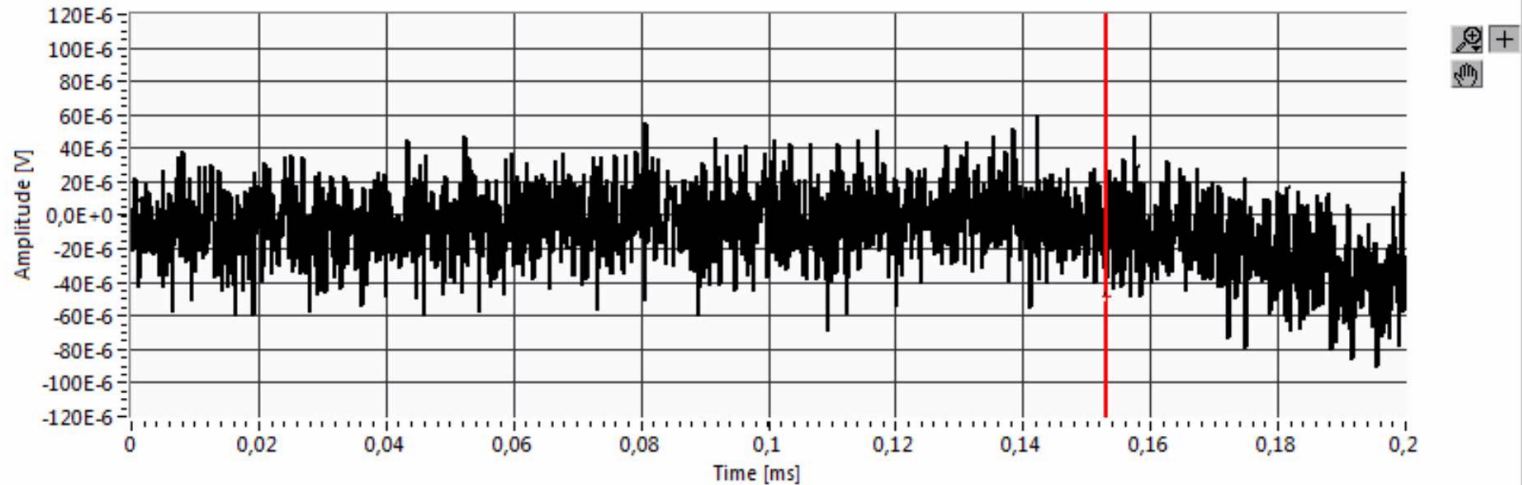
$$E_{dyn} = \frac{(1 + \sigma_{dyn}) \cdot (1 - 2\sigma_{dyn})}{(1 - \sigma_{dyn})} \cdot v_p^2 \cdot \rho_c = (2 + 2\sigma_{dyn}) \cdot v_s^2 \cdot \rho_c$$

- Schubmodul

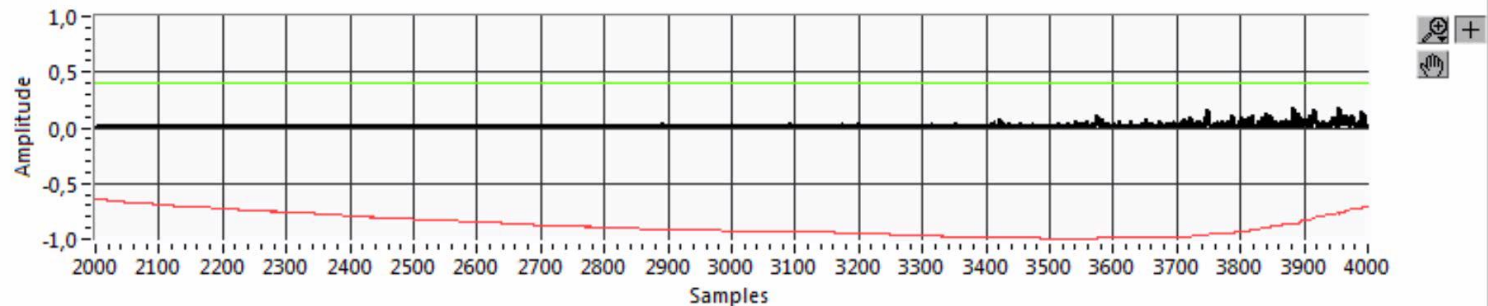
$$G_{dyn} = \frac{E_{dyn}}{2 + 2\sigma_{dyn}} = v_s^2 \cdot \rho_c$$



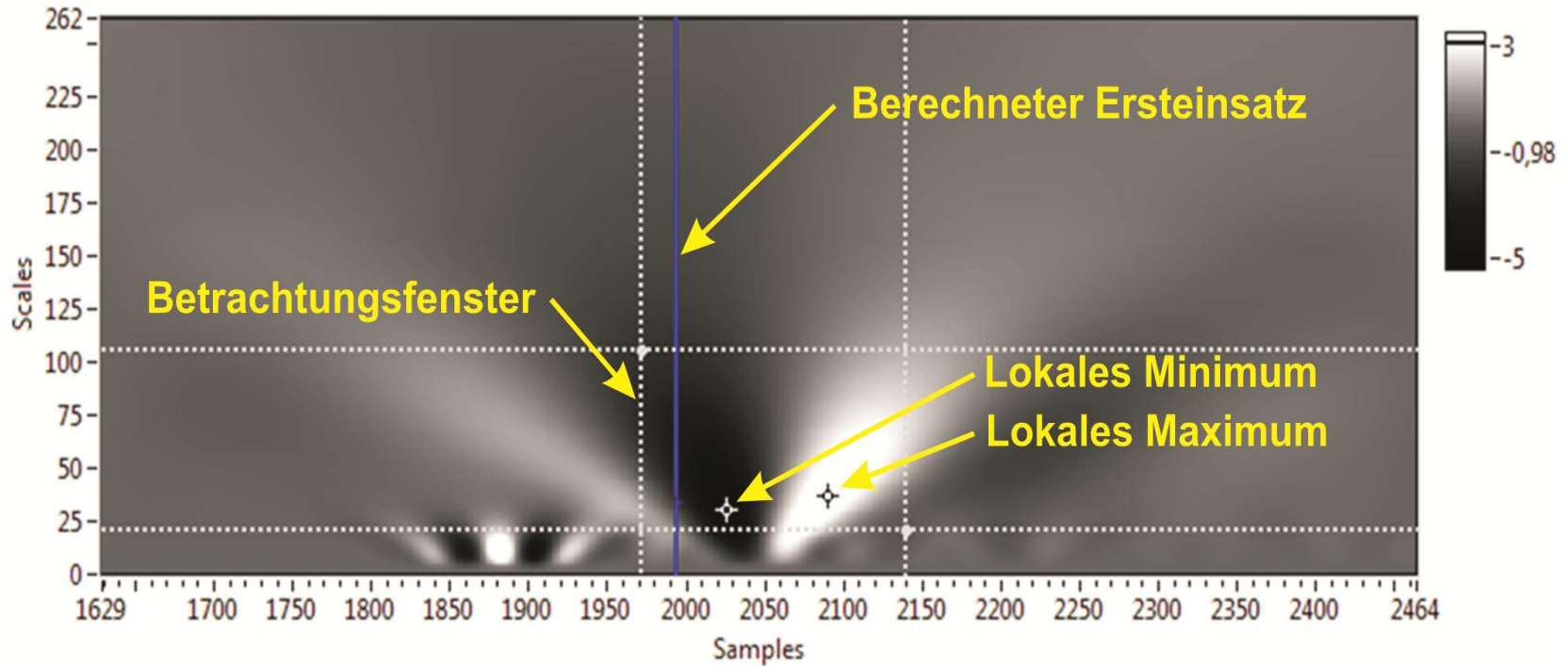
Ultraschallsignal (CEM I 52,5R)



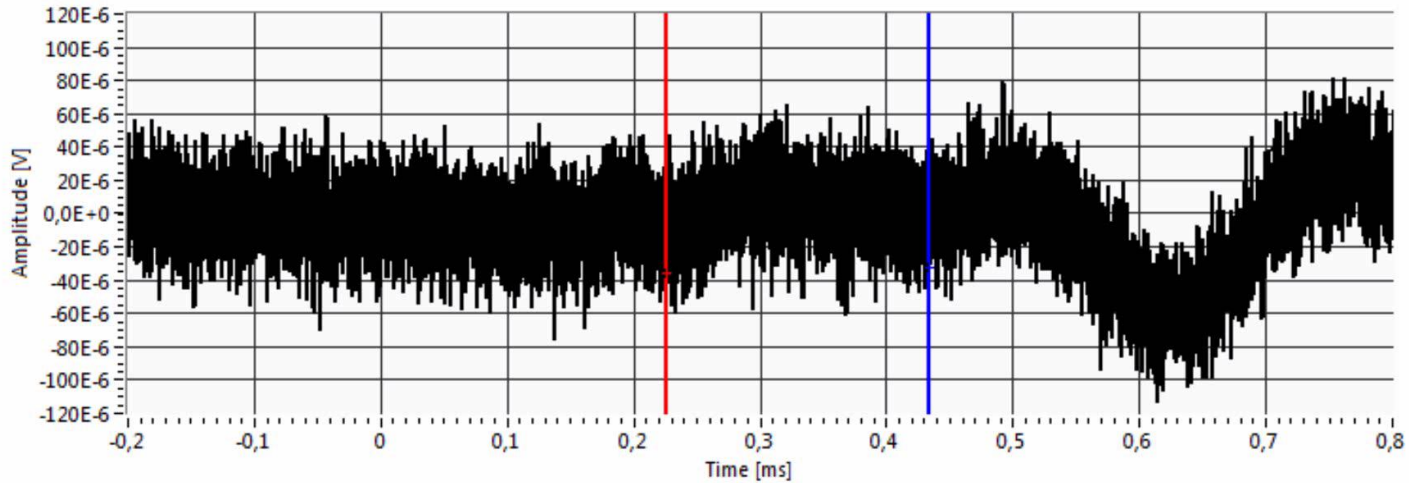
AIC-Funktion zur autom. Ersteinsatzbestimmung



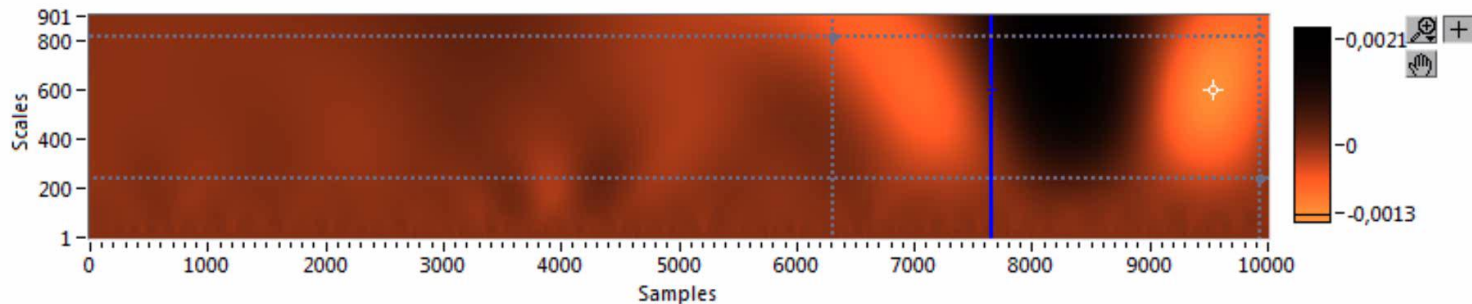
- Beispiel einer kontinuierlichen Wavelet-Transformation eines Ultraschallsignals mit Bestimmung des Ersteinsatzes der S-Welle

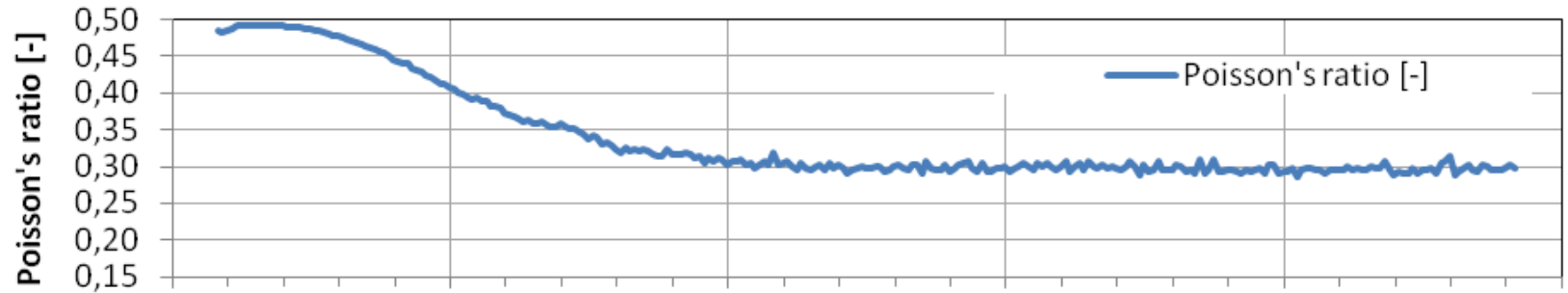
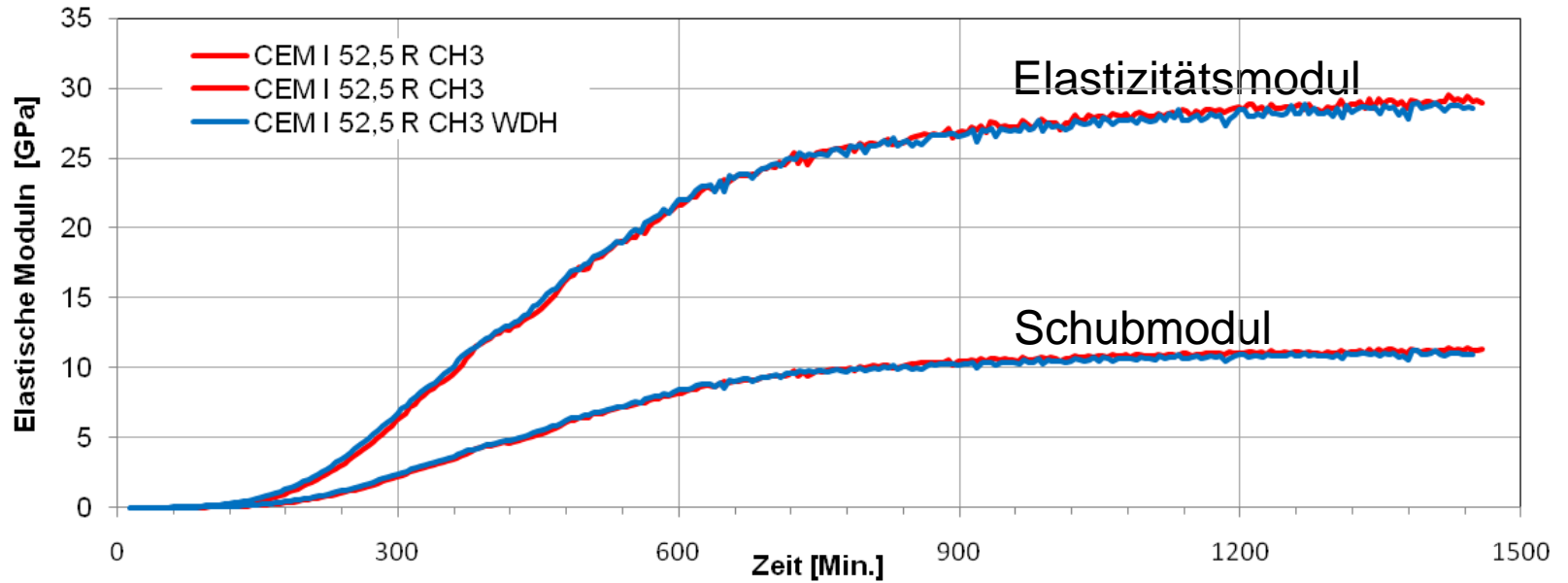


Ultraschallsignal (CEM I 52,5R)

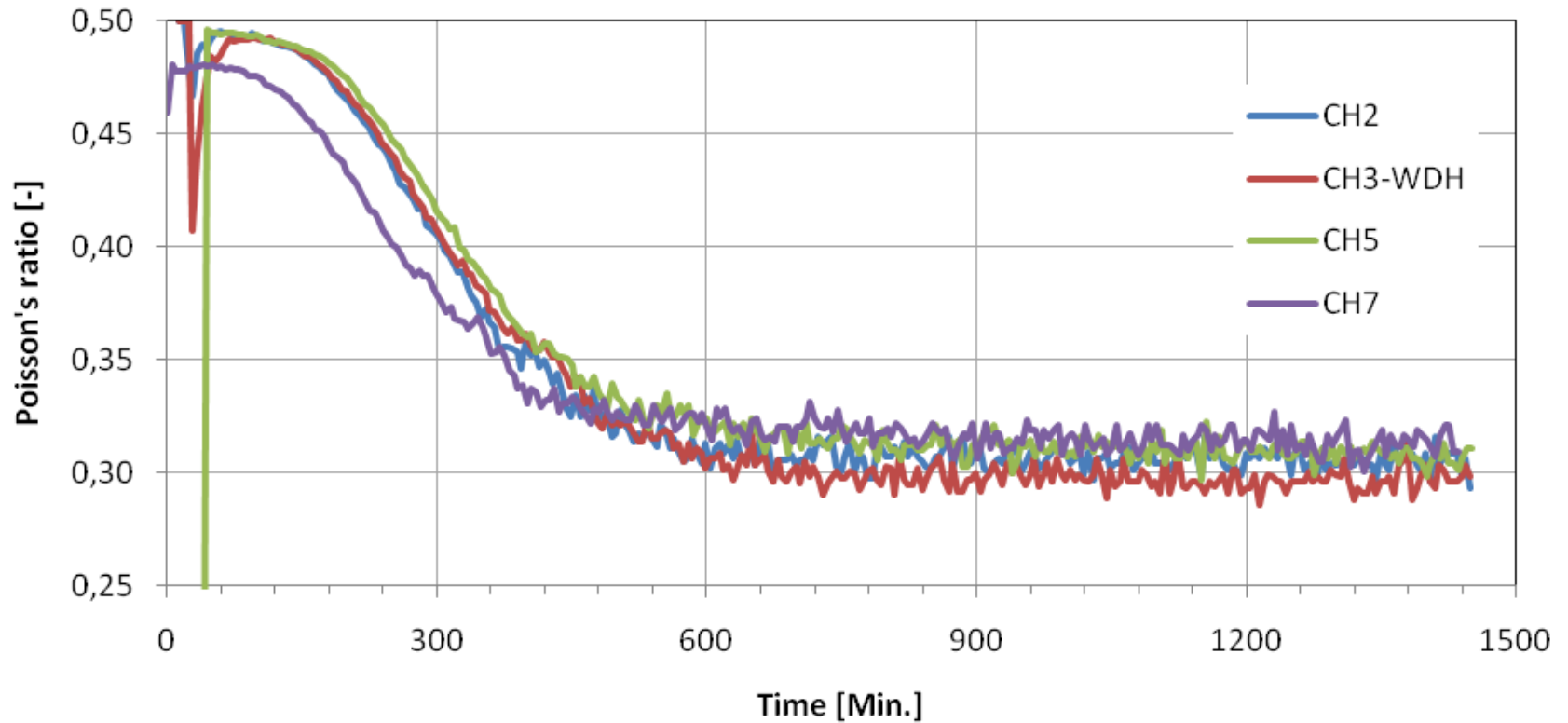


Automatische Ersteinsatzbestimmung mittels Wavelet-Transformation

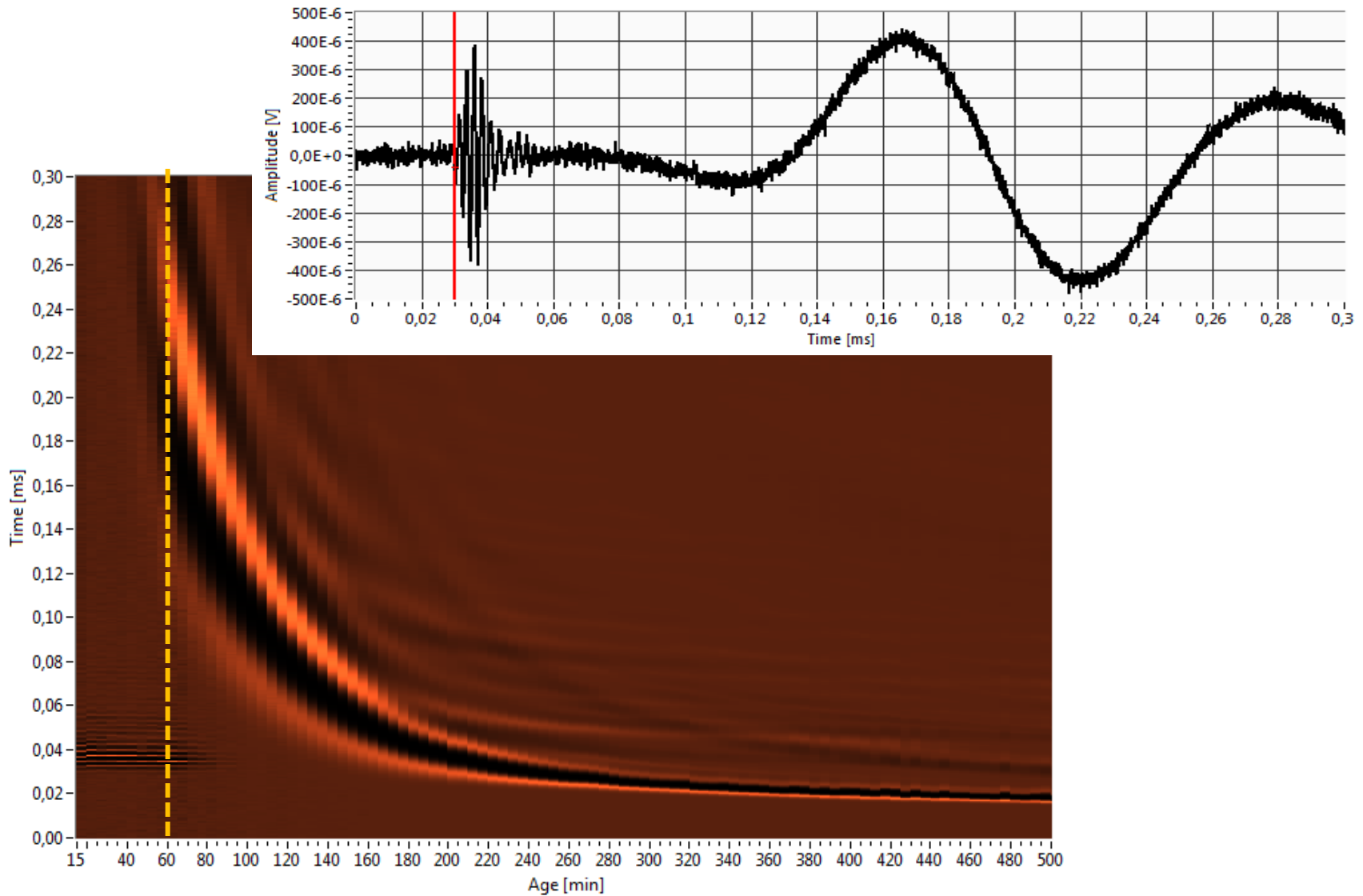




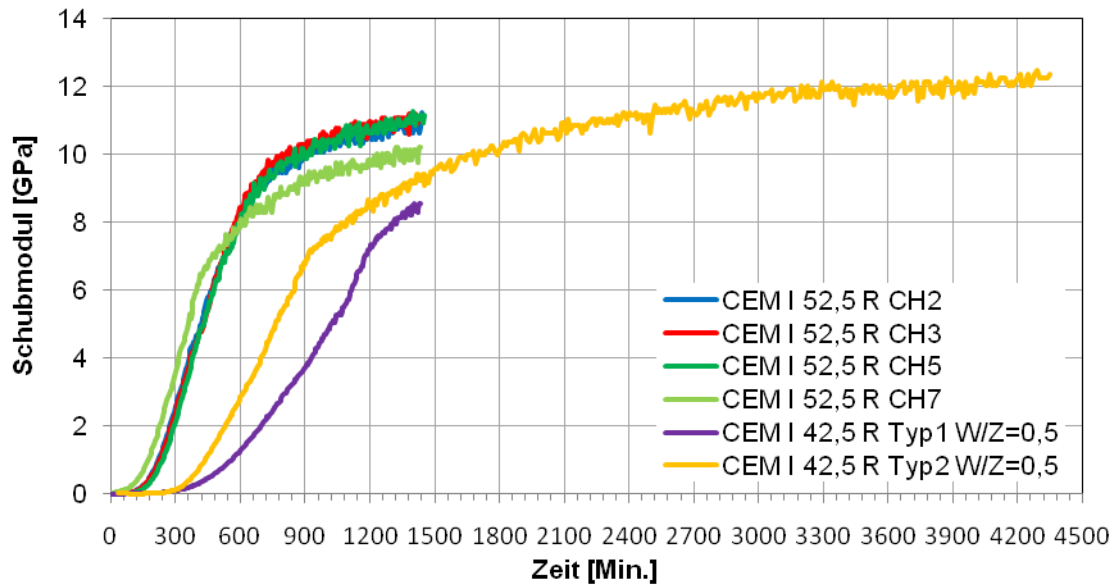
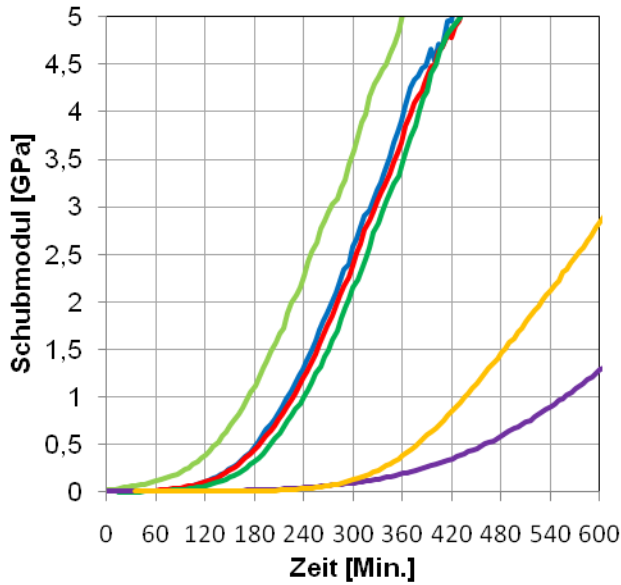
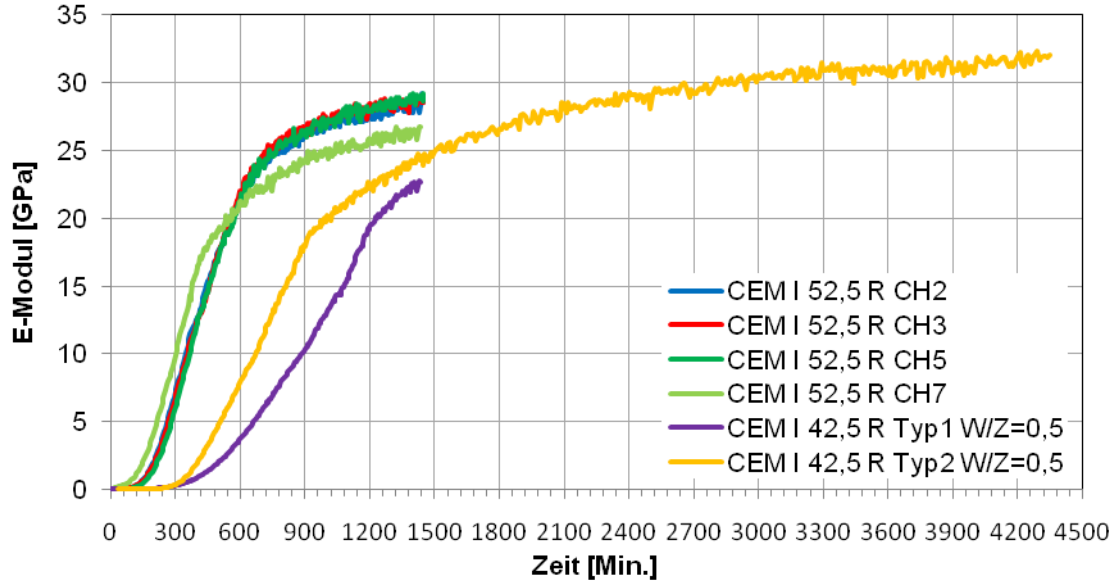
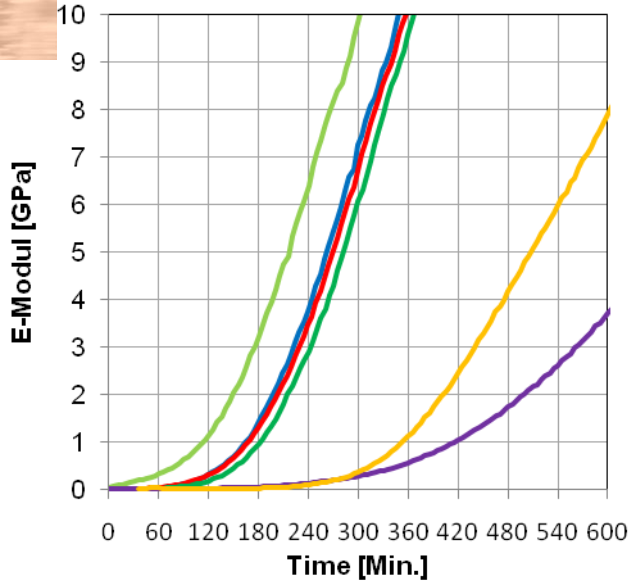
Querdehnzahl (CEM 1 52,5 R, versch. Chargen)

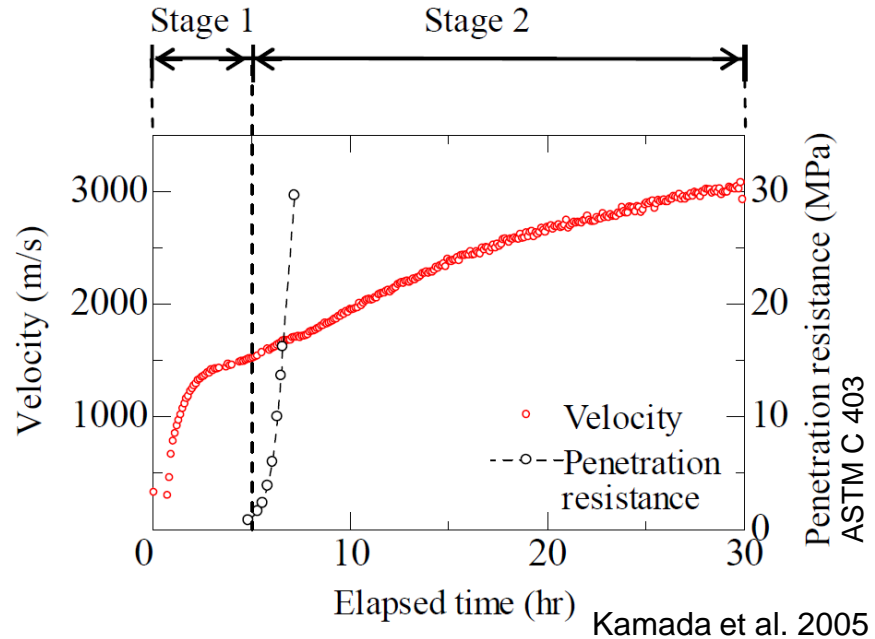
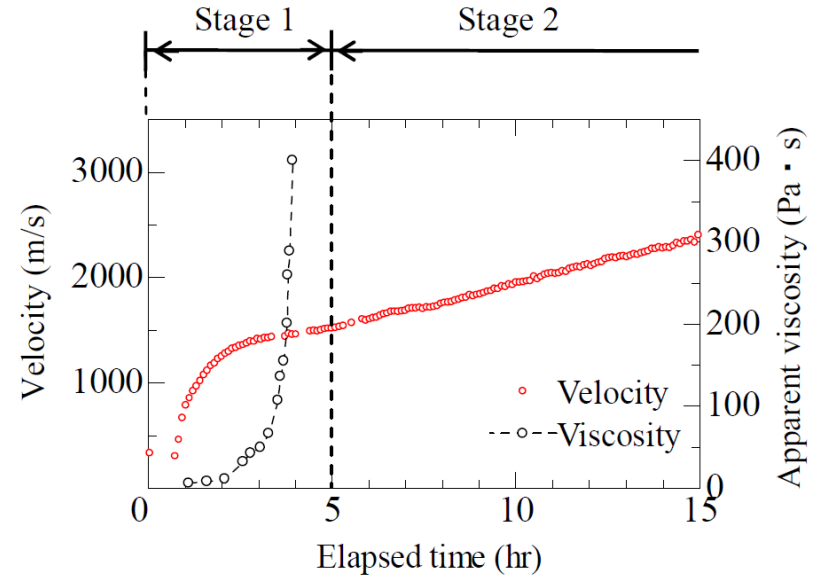
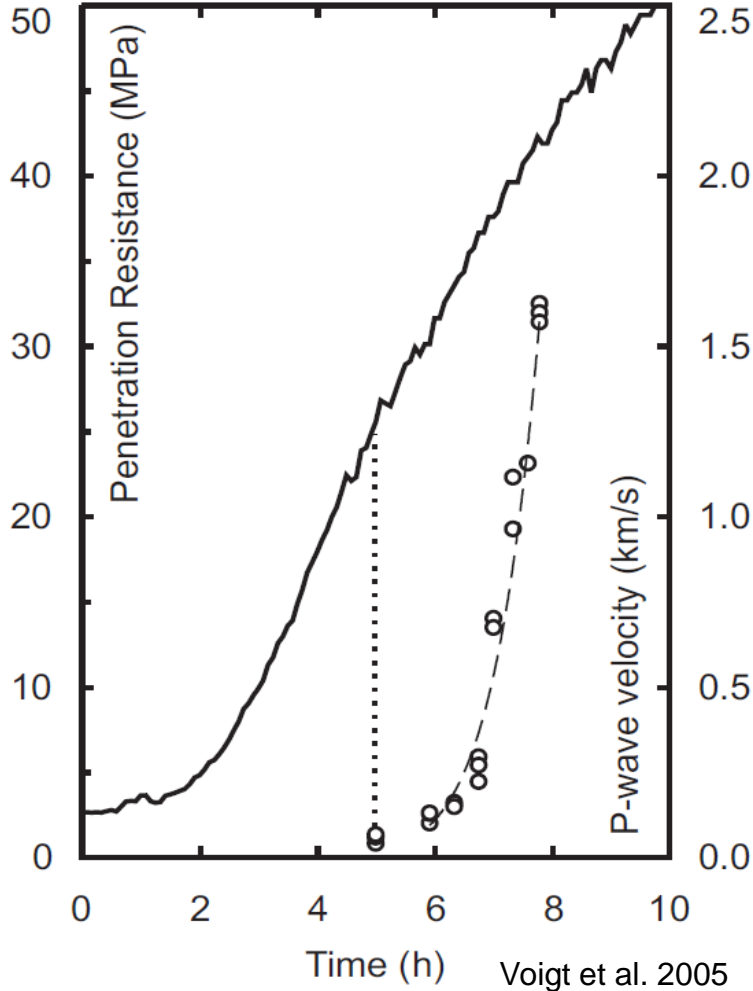


Fast und Slow P-Wave

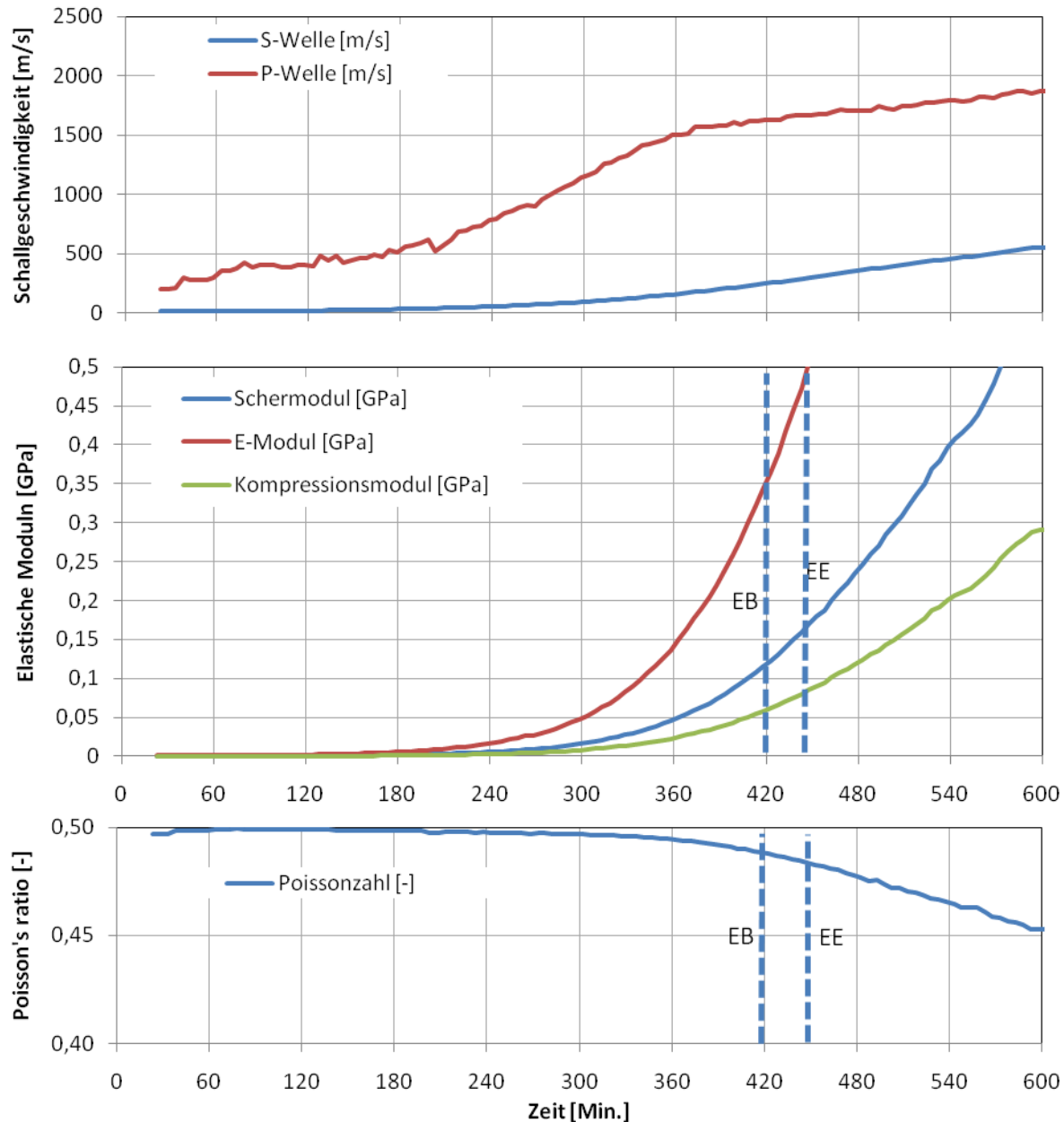


Charakterisierung des Erstarrungs- und Erhärtungsverhaltens mittels Ultraschall

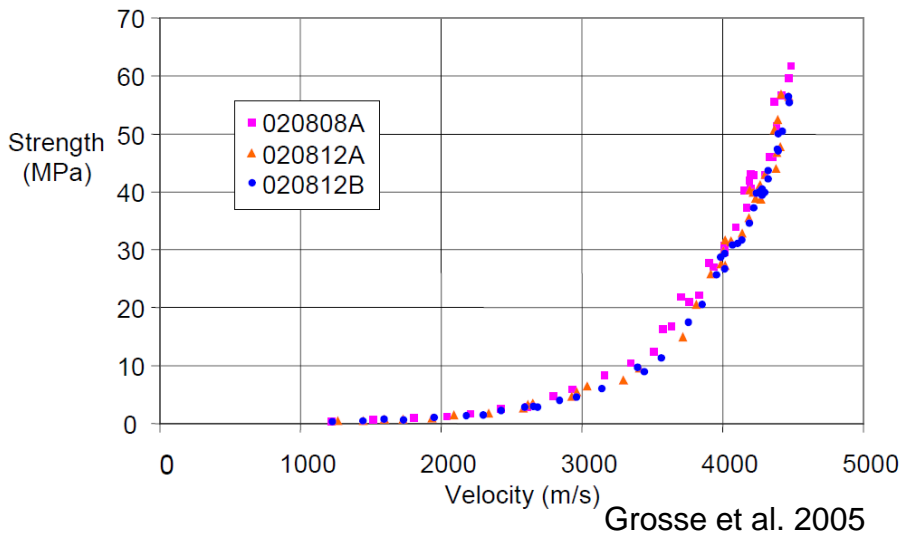
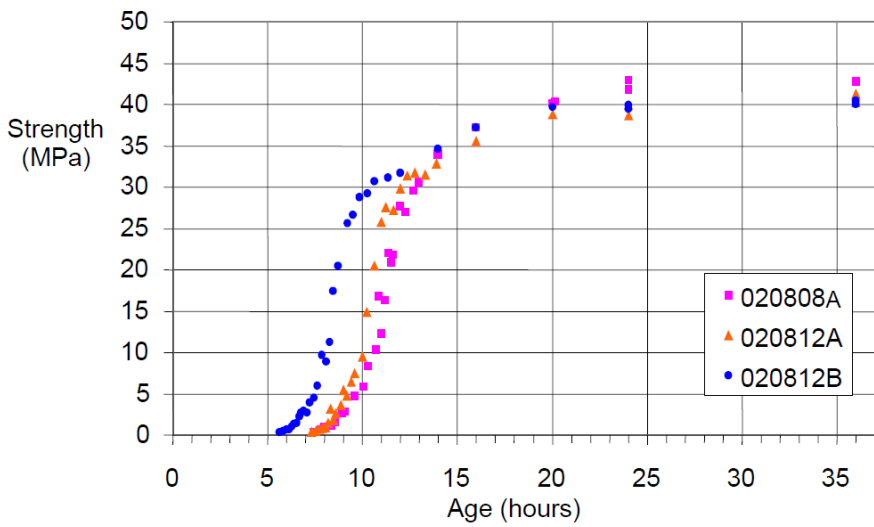




Messungen an Zementleim (CEM I 42,5 R, W/Z=0,42)

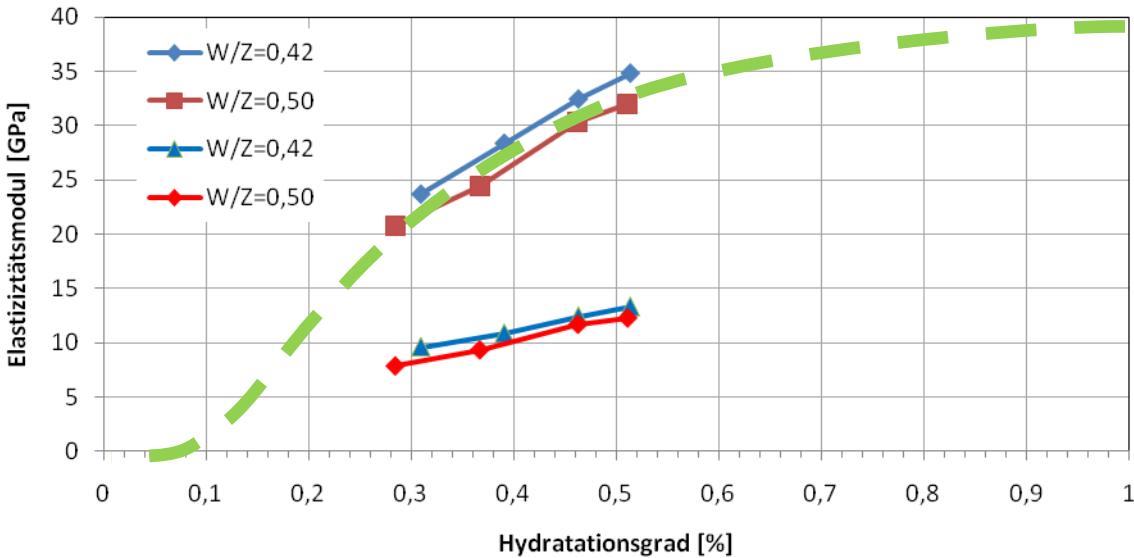
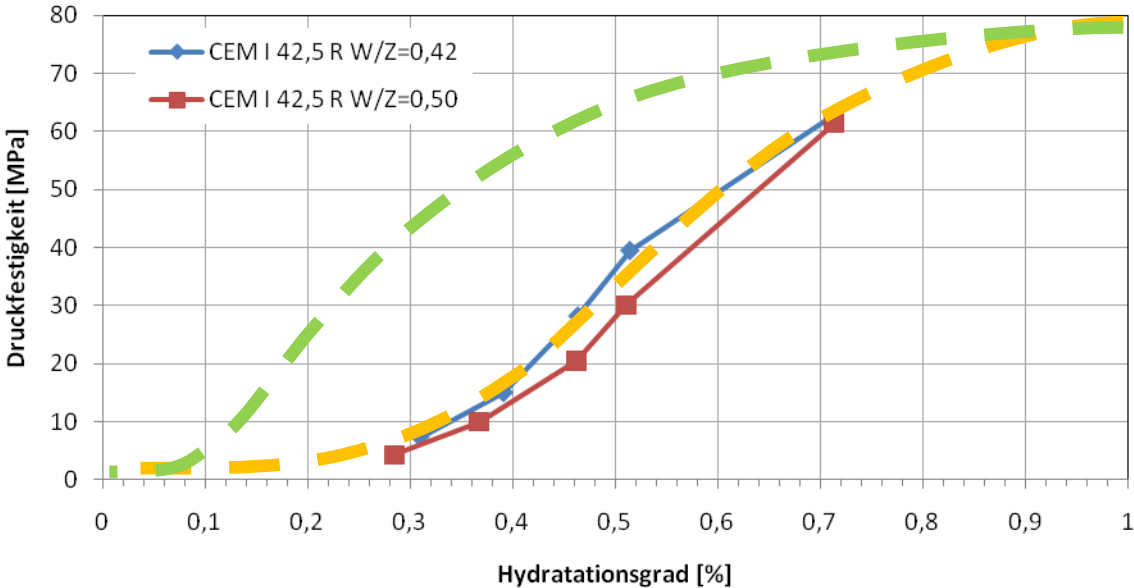


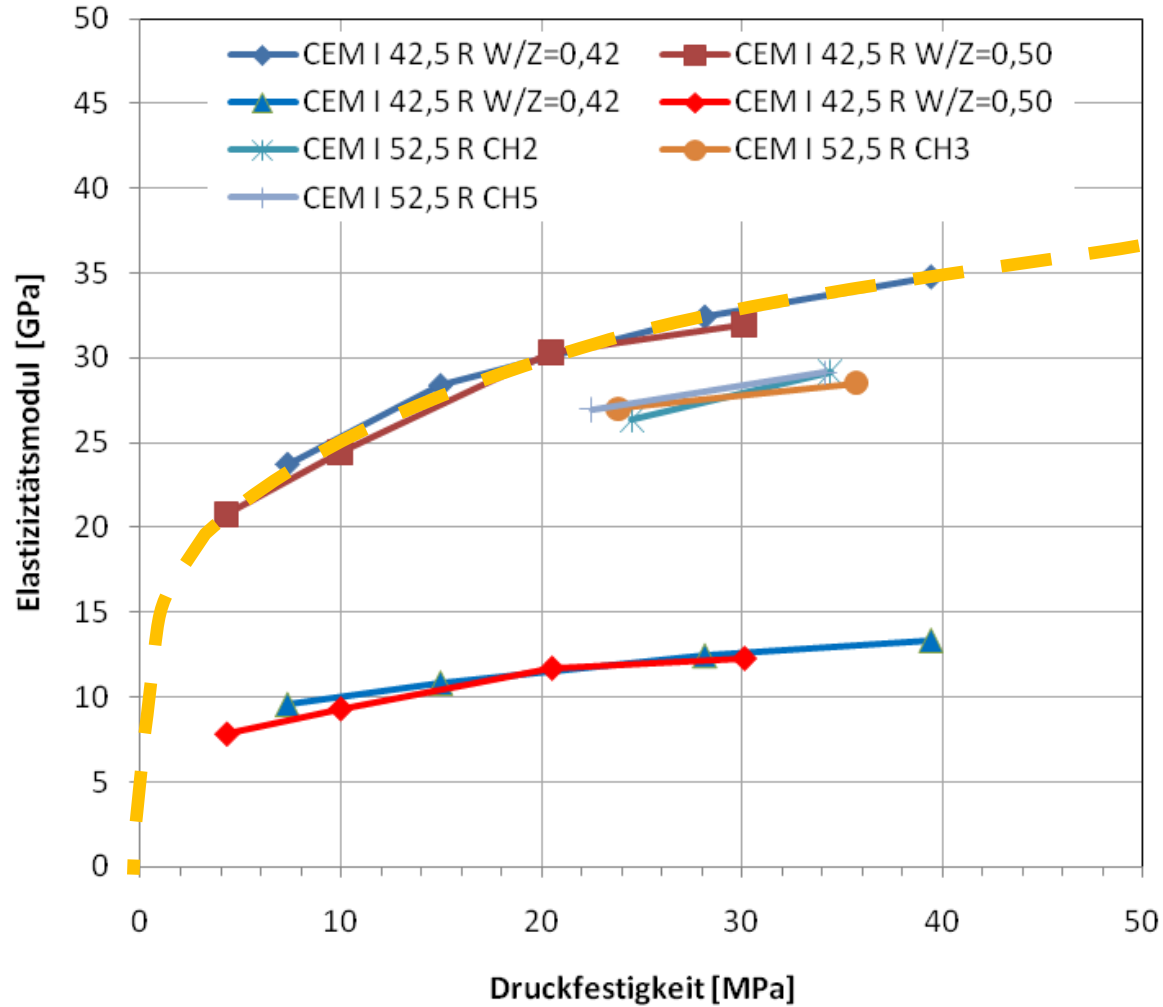
Korrelationen von Festigkeit und Ultraschallparametern (P-Welle)



Grosse et al. 2005

Druckfestigkeit, elastische Parameter und Hydratationsgrad





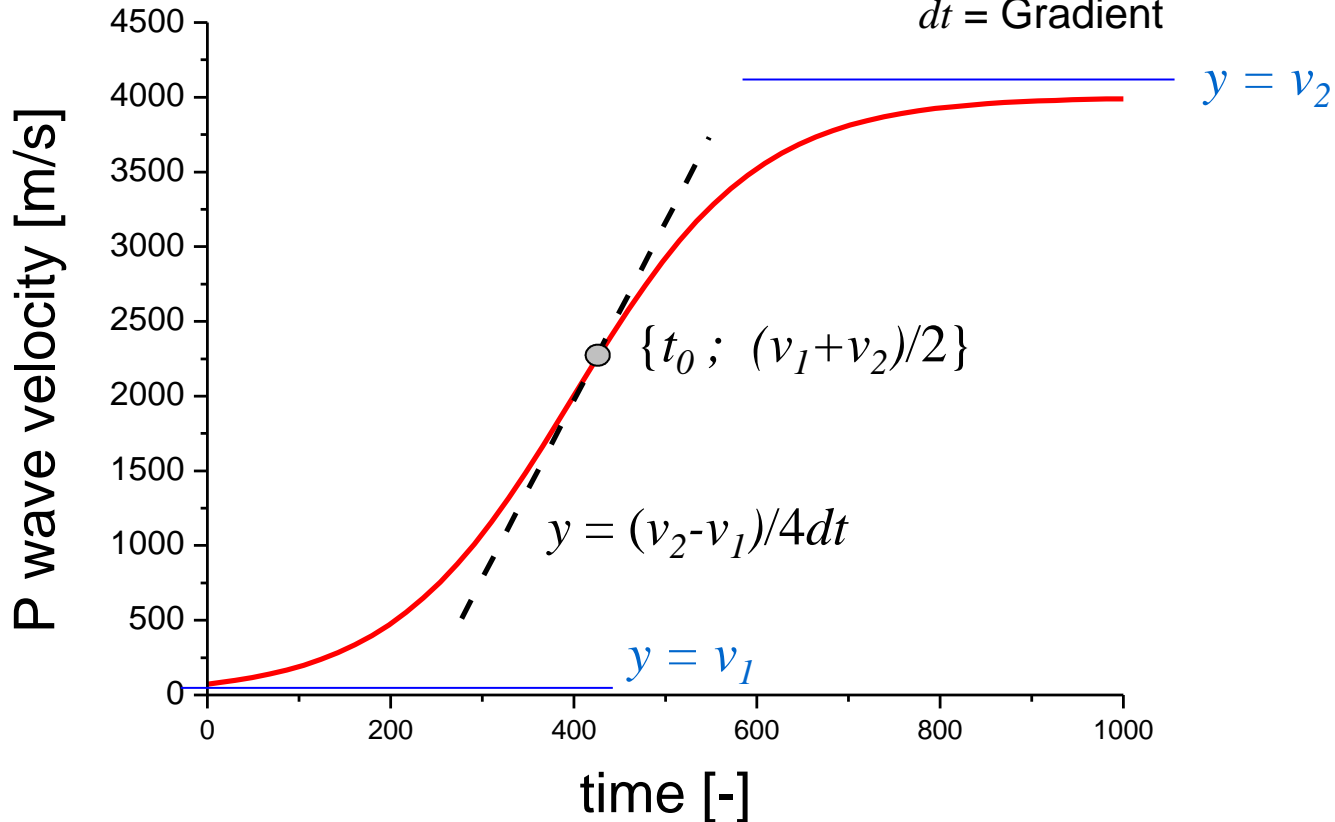
Mathematische Beschreibung des Hydratationsverlaufs

Boltzmann-Funktion zur Beschreibung des s-förmigen Verlaufs der Ultraschallgeschwindigkeit

$$v(t) = \frac{v_1 - v_2}{1 + e^{(t-t_0)/dt}} + v_2$$

mit

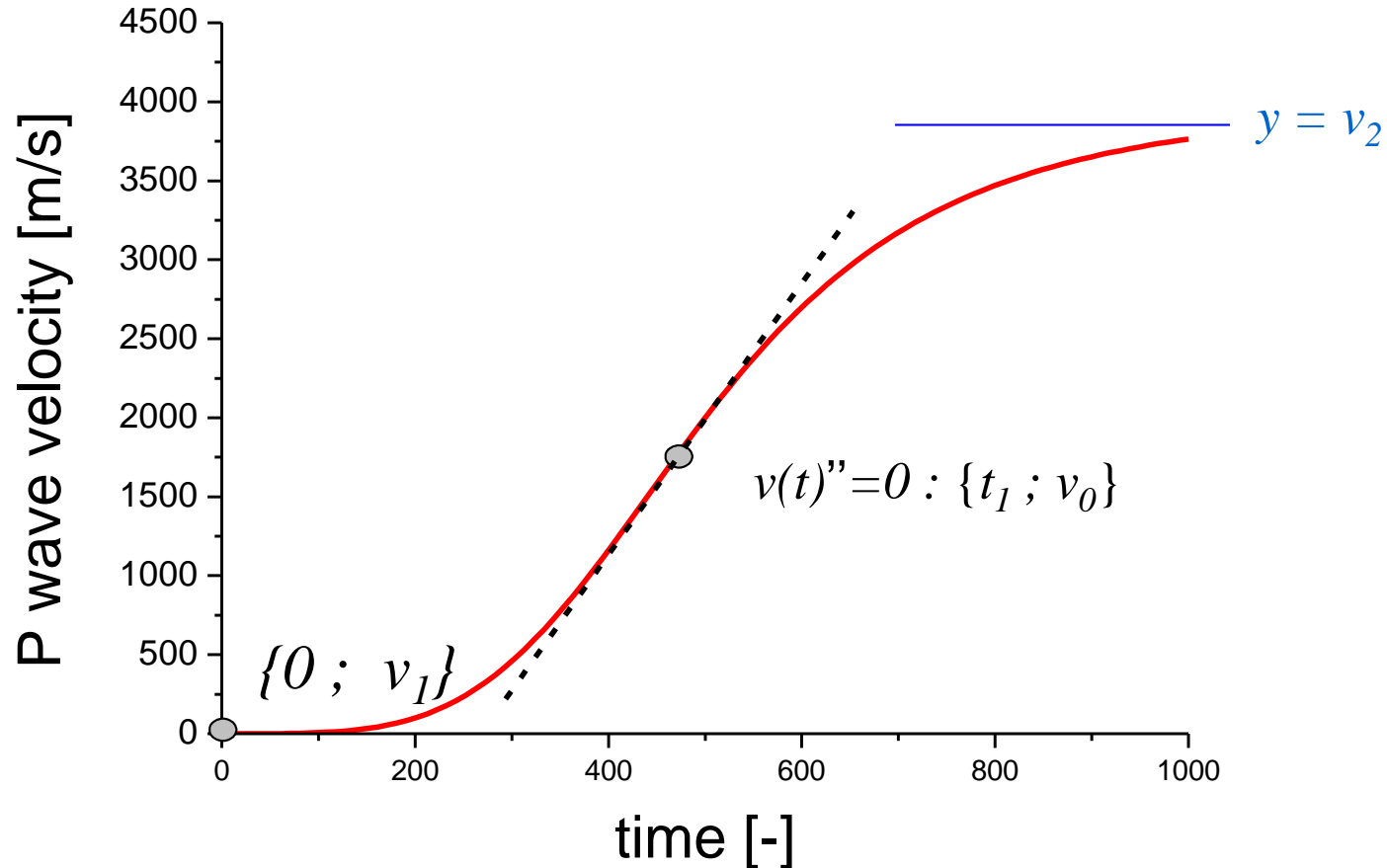
- v_1 = initiale Ultraschallgeschwindigkeit
- v_2 = finale Ultraschallgeschwindigkeit
- t = Alter nach Wasserzugabe
- t_0 = Zeitpunkt mit $v = (v_1 + v_2)/2$
- dt = Gradient



Mathematische Beschreibung des Hydratationsverlaufs

LOG-Funktion zur Beschreibung des s-förmigen Verlaufs der Ultraschallgeschwindigkeit

$$v(t) = \frac{v_1 - v_2}{1 + (t/t_0)^p} + v_2 \quad \text{mit} \quad \left(\frac{t_1}{t_0}\right)^p = \frac{p-1}{p+1}$$



- Charakteristische Materialparameter

- Rohdichte
- Luftporengehalt
- Wasseranspruch
- Erstarrungsbeginn /-ende
- Viskosität
- Elastizität
- Festigkeitsentwicklung



- V_P , Querdehnzahl
- V_P , fast V_P , Querdehnzahl
- V_P , V_S , Querdehnzahl, E, G
- V_S , E, G
- V_S , E, G
- V_P , V_S , E, G

- Anwendungen der Ultraschallanalyse

- Wirkungsweise von Zusatzmitteln bzw. Zusatzstoffen
- Qualitätssicherung von Zementen und Ausgangsstoffen