

# Untersuchungen zu Einflussgrößen auf die Messgenauigkeit der Ultraschall-Dickenmessung von Betonbauteilen

Linda DÖLL<sup>1</sup>, Martin SCHICKERT<sup>2</sup>, Ralf W. ARNDT<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fachhochschule Erfurt, Fakultät Bauingenieurwesen und Konservierung/Restaurierung, Erfurt

<sup>2</sup> Materialforschungs- und -prüfanstalt (MFPA) an der Bauhaus-Universität Weimar, Weimar

Kontakt E-Mail: martin.schickert@mfpa.de

## Kurzfassung

Für die Ultraschall-Dickenmessung von Betonbauteilen ist eine Reihe von Handmessgeräten verfügbar, mit denen einseitige Messungen schnell und einfach durchgeführt werden können. Die Messgenauigkeit beim Einsatz dieser Geräte hängt von verschiedenen Einflussgrößen ab, die in den Geräten und deren Messverfahren, ihrer Anwendung und der Auswertung angelegt sind.

In dieser Arbeit wird der Beitrag wichtiger Einflussgrößen auf die Messunsicherheit von Ultraschall-Dickenmessungen im Dickenbereich von 70 bis 600 mm untersucht. Dafür wurden die Messparameter in Modellrechnungen variiert, und es wurden systematische Dickenmessungen mit zwei kommerziellen Handgeräten und einem scannenden Abbildungssystem im Labor an drei Stufentestkörpern durchgeführt. Die Auswertung erfolgte anhand von A- und B-Bildern sowie zu Vergleichszwecken mit der SAFT-Rekonstruktion.

Die Unterschiede in den Justiermöglichkeiten der Geräte werden aus den Messergebnissen und den resultierenden Messunsicherheiten deutlich. Es wird deshalb beispielhaft gezeigt, wie die Messunsicherheit eines nur teilweise justierbaren Gerätes durch eine Rekalibrierung verbessert werden kann. Die ermittelten Messunsicherheiten werden angegeben, und der Beitrag der wichtigsten Einflussgrößen wird diskutiert.



# Untersuchungen zu Einflussgrößen auf die Messgenauigkeit der Ultraschall-Dickenmessung von Betonbauteilen

Die Dicke von Betonbauteilen lässt sich mit Ultraschall-Handmessgeräten relativ einfach aus A-Bildern, B-Bildern und Rastermessungen bestimmen. Voraussetzung für genaue Messergebnisse ist eine Justierung der Geräte.

Mit den Geräten ACSYS A1220 Monolith und Proceq Pundit PL-200PE wurden systematische Labormessungen an drei Stufentestkörpern im Dickenbereich von 70 bis 600 mm durchgeführt.

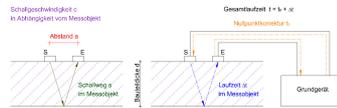
Die Messunsicherheit der Geräte wurde anhand der resultierenden A- und B-Bilder vergleichend untersucht, und es wurde gezeigt, wie sich die Messergebnisse eines nur teilweise justierbaren Gerätes durch Rekalibrierung verbessern lassen.

## Laufzeit und Schallweg

$$t = t_0 + \Delta t$$

$$s = c \cdot \Delta t$$

$$c = s / \Delta t$$



t gemessene Laufzeit  
 t<sub>0</sub> Systemlaufzeit (Messgerät, Prüfköpfe)  
 Δt Laufzeit im Beton entlang Schallweg  
 s Schallweg  
 c Schallgeschwindigkeit

## Dickenmessung

a Abstand Sender/Empfänger  
 d Betondicke

$$s = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{a^2}{4} + d^2\right)} \quad d = \frac{\sqrt{(c^2 \cdot (t - t_0)^2 - a^2)}}{2}$$



ACSYS 1220 Monolith



Proceq PL-200PE

## Rekalibrierung

Nachträgliche Rekalibrierung der mit einem Gerät gemessenen Dicken.

Für veränderte Schallgeschwindigkeit:

$$d_{\text{neu}} = x_c \cdot d_{\text{alt}}$$

$$x_c = \frac{\sqrt{c_{\text{neu}}^2 \cdot \Delta t^2 - a^2}}{\sqrt{c_{\text{alt}}^2 \cdot \Delta t^2 - a^2}}$$

$$x_c = \frac{\sqrt{c_{\text{neu}}^2 \cdot \Delta t^2}}{\sqrt{c_{\text{alt}}^2 \cdot \Delta t^2}} = \frac{c_{\text{neu}}}{c_{\text{alt}}} \quad \text{für } a = 0$$

Für alle Parameter:

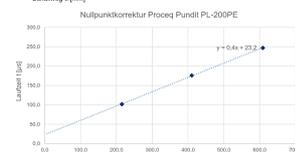
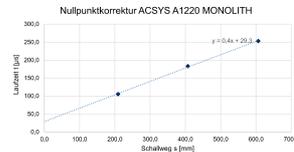
$$x_{\text{NK}} = \frac{\sqrt{c_{\text{neu}}^2 \cdot (t - t_{0, \text{neu}})^2 - a_{\text{neu}}^2}}{\sqrt{c_{\text{alt}}^2 \cdot (t - t_{0, \text{alt}})^2 - a_{\text{alt}}^2}}$$

## Kalibrierung am Stufentestkörper

Testkörper mit drei Dicken 100, 201, 302 mm.



Bestimmung von Nullpunktkorrektur und Schallgeschwindigkeit über Ausgleichsgeraden durch die Dickenmessungen:



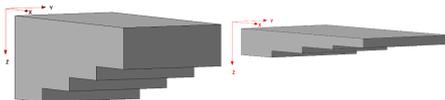
## Ergebnisse der Kalibrierung

- Die geringsten Messabweichungen werden bei beiden Geräten für einen Sender-Empfänger-Abstand a = 0 mm erreicht. Wahrscheinlicher Grund: Beide Geräte berücksichtigen a nicht in ihren Dickenberechnungen.
- Maximale Messabweichung von den realen Dicken des 3-Stufen-Testkörpers:
  - A1220 maximal 4 mm
  - PL-200PE maximal 42 mm
  - Grund: Keine Berücksichtigung der Systemlaufzeit im Gerät
- Nach Rekalibrierung: maximal 1 mm
- Die ermittelten Schallgeschwindigkeiten sind geräteabhängig:
  - A1220 c = 2737 m/s
  - PL-200PE c = 2781 m/s

## Bestimmung der Messunsicherheit

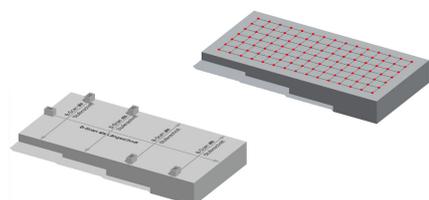
### Messungen an zwei Stufentestkörpern

Flächen jeweils 1,60 m x 0,80 m, Nenndicken 70, 100, 150, 200 mm bzw. 300, 400, 500, 600 mm



Kalibrierwerte (Mittelwerte über alle 8 Stufen):

A1220 t<sub>0</sub> = 26 µs, c = 2488 m/s  
 PL-200PE t<sub>0</sub> = 23 µs, c = 2526 m/s



### Dickenmessungen

- B-Bilder entlang einzelner Linien
- Flächenmessungen auf Raster 100 mm x 100 mm
- A-Bilder als Wiederholungsmessungen
- 2D-SAFT-Rekonstruktionen entlang einzelner Linien

### Ergebnisse

- A1220, B-Bilder:
  - maximale absolute Abweichung: 7,7 mm
  - relative Abweichungen: -1,4 ... 0,8 %
  - maximale Standardabweichung: 7,8 mm
  - Std.abw. Wiederholung: 0,6 mm (A-Bilder)
- PL-200PE, B-Bilder nach Rekalibrierung:
  - maximale absolute Abweichung: 4,2 mm
  - relative Abweichungen: -5,6 ... 0,3 %
  - maximale Standardabweichung: 4,4 mm
  - Std.abw. Wiederholung: 0,9 mm (A-Bilder)

## Zusammenfassung

- Das Gerät PL-200PE berücksichtigt die Systemlaufzeit nicht. Dadurch entsteht ein systematischer Messfehler von ca. 30 mm, der durch eine Rekalibrierung nachträglich korrigiert werden muss.
- Mit justierten Geräten bzw. nach Rekalibrierung wurden unter Laborbedingungen im Dickenbereich von 70 bis 400 mm 2σ-Messunsicherheiten von 10 mm und bis 600 mm von 20 mm erreicht.
- Die Messunsicherheiten sind damit nicht größer als die nach DIN 1045-3:2012-03 erlaubten Maßtoleranzen im Betonbau.
- Die ermittelten Schallgeschwindigkeiten unterscheiden sich von Gerät zu Gerät um 1 % bis 2 %.
- Die 2σ-Messunsicherheit bei Messwiederholungen liegt bei beiden Geräten unter 2 mm.