

Impact Echo: Einfluss des Abstandes zwischen Impaktor und Sensor

Sarah Hackenberg [REDACTED], Moritz Schäferhoff [REDACTED], Karina Voges [REDACTED]

Die folgende Arbeit steht unter dem Titel „Impact Echo: Einfluss des Abstandes zwischen Impaktor und Sensor“. Im Rahmen dieser Arbeit werden Messungen mit dem Impact Echo durchgeführt und herausgearbeitet, wie sich unterschiedliche Abstände zwischen dem Impaktor und dem Sensor im Messgerät auf die Messergebnisse auswirken. Es wird untersucht, bei welchem Abstand die genauesten Ergebnisse erzielt werden. Des Weiteren werden die Messergebnisse hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit ausgewertet. Aus den Messabweichungen infolge der Abstände wird die Fehleranfälligkeit von Messungen in der Praxis abgeleitet. Besonders wenn Messpunkte nur schwer zu erreichen sind, oder wenn kein Raster angebracht werden kann, ist es interessant, wie groß die Abweichungen sein dürfen, um noch brauchbare Ergebnisse zu erzielen.

Zur Beantwortung der Fragestellung wird ein bekannter Testkörper mit den Abmessungen $h/b/d = 1,20/1,20/0,20$ m untersucht. In dem Betonkörper ist eine Polystyrol-Platte eingearbeitet, um eine Minderdicke zu erzeugen. Außerdem liegt in der Platte ein Spannglied mit Hüllrohr, welches zur Hälfte verpresst und zur anderen Hälfte unverpresst ist (vgl. Abbildung 1).

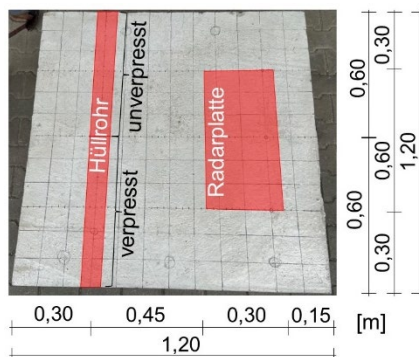


Abbildung 1: Aufbau des Testkörpers

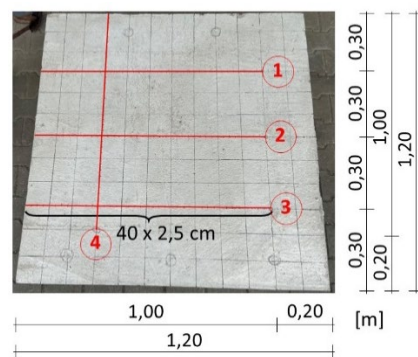


Abbildung 2: Messreihenaeometrie

Die Messungen erfolgen auf drei Linien (30 cm, 60 cm und 90 cm vom Rand des Testkörpers) mit einer Länge von $l=1$ m orthogonal zum Hüllrohr (vgl. Abbildung 2). Zusätzlich erfolgt eine Messlinie, die entlang des Hüllrohrs angeordnet wird. Der Abstand der Messpunkte liegt bei $e=2,5$ cm (41 Messpunkte pro Linie) und als Impaktor dient eine Stahlkugel mit dem Durchmesser $D=1,2$ cm.

Für die Beantwortung der Fragestellung werden die Messlinien jeweils dreimal gemessen. Die erste Messung wird mit einem Abstand des Impaktors zum Sensor von $a_1=5\text{ cm}$ durchgeführt. Es folgen die Messungen mit einem Abstand von $a_2=15\text{ cm}$ und $a_3=25\text{ cm}$ (vgl. Abbildung 3).

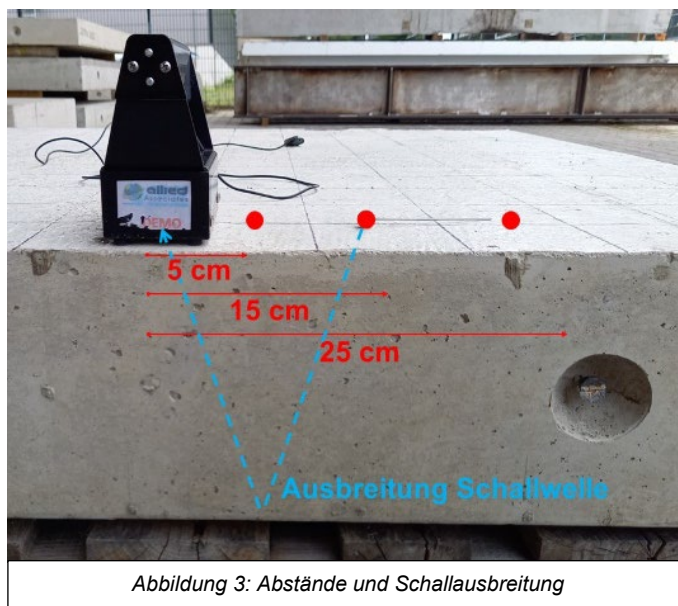


Abbildung 3: Abstände und Schallausbreitung

Für die Messungen wird das Impact Echo Gerät „CTG-21“ des Herstellers „Olsen Instruments“ verwendet. Die Erfassung und Auswertung der Daten erfolgt mit Hilfe der Software „Echolyst“ vom schweizerischen Verein für technische Inspektionen (SVTI).

Impact Echo ist ein akustisches Verfahren zur zerstörungsfreien Untersuchung von Betonbauwerken [1]. Zur Messung wird ein Impaktor (z.B. eine Stahlkugel), ein Sensor und ein Softwareprogramm benötigt. Der Impaktor erzeugt einen kurzen mechanischen Impuls, wodurch es zur Anregung von Schallwellen im Prüfkörper kommt. Die Wellen breiten sich in der Struktur aus und werden mehrfach zwischen parallelen Grenzflächen oder Fehlstellen reflektiert. Diese Mehrfachreflektionen nimmt ein Sensor an der Bauteiloberfläche auf und das Softwareprogramm transformiert die Signale in ein Frequenzbereich. [2] Der Abstand der Grenzflächen kann durch die Kalibrierung der Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmt werden. Dafür muss entweder punktuell die Dicke des Bauteils oder die Wellengeschwindigkeit des Körpers bekannt sein. Bei Fehlstellen kann neben der Lage auch das Ausmaß detektiert werden. [3]

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass die Dickenmessung durch unterschiedliche Impaktorabstände verschiedene Ergebnisse bringt. Zunächst erfolgt die Betrachtung der Messreihen mit einem

Impaktorabstand von $a_1=5$ cm. Die Dickenfeststellung in Messreihe 1 stimmt mit $d=20$ cm mit den Angaben aus der Entwurfszeichnung überein.

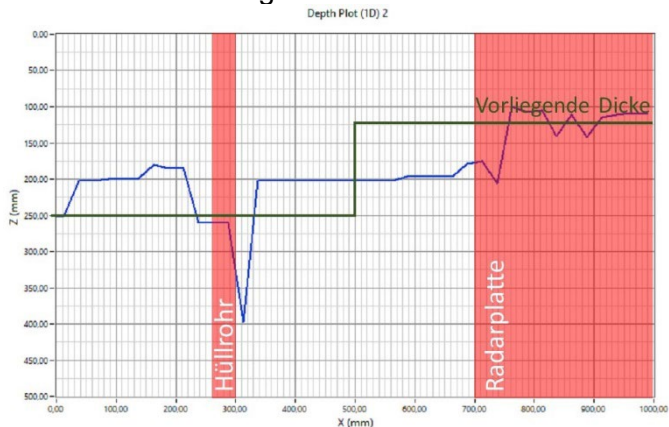


Abbildung 4: Messreihe 1 – Abstand $a_1=5$ cm

In Abbildung 4 ist ein Peak bei 30 cm erkennbar. Hier liegt der unverfüllte Spannkanal. Nach circa 70 cm wird eine Minderdicke dargestellt. Diese lässt sich auf die eingebaute Polystyrol-Platte zurückführen (vgl. Abbildung 4).

In Messreihe 2 (vgl. Abbildung 5) ist das Hüllrohr nicht eindeutig zu sehen. Dies liegt an dem Übergang zwischen dem verpressten und dem nicht verpressten Spannglied. Die Minderdicke am rechten Rand bleibt weiterhin erkennbar.

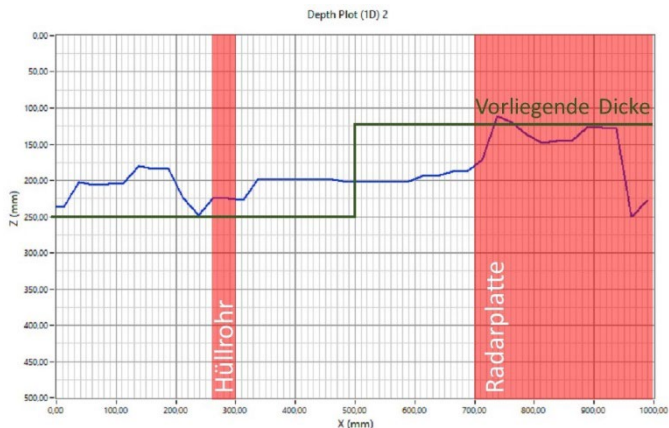


Abbildung 5: Messreihe 2 – Abstand $a_1=5$ cm

Anders ist dies in Messreihe 3. Es ist weder das Spannglied noch eine Minderdicke im hinteren Bereich sichtbar (vgl. Abbildung 6). Da das Spanrohr komplett verfüllt ist, wird dieses nicht mehr detektiert.

Die Minderdicke kann nicht dargestellt werden, da nur der Sensor auf der Messlinie bewegt wird, der Impuls jedoch seitlich davon gesendet wurde. Die elastischen Wellen treffen nicht auf die Polystyrol-Platte und werden folglich nicht reflektiert.

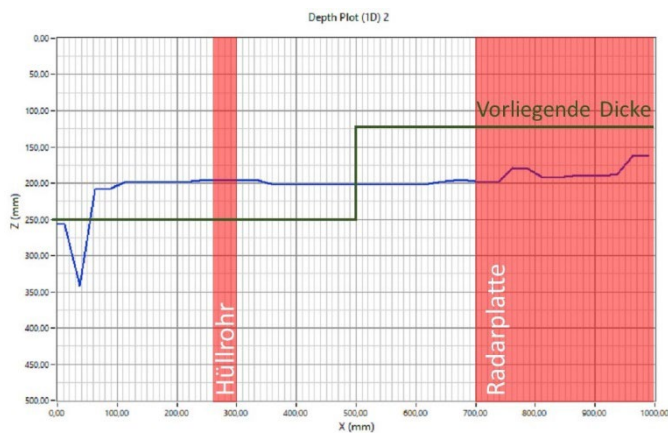


Abbildung 6: Messreihe 3 – Abstand $a_1=5$ cm

Für die weitere Betrachtung der Ergebnisse wird ausschließlich Messreihe 1 verwendet. Aufgrund des erhöhten Abstandes auf $a_2=15$ cm zwischen Impaktor und Sensor sind die Messdaten nicht mehr eindeutig. Der Peak, der das Spannglied detektiert, erfolgt bereits nach 20 cm (vgl. Abbildung 7).

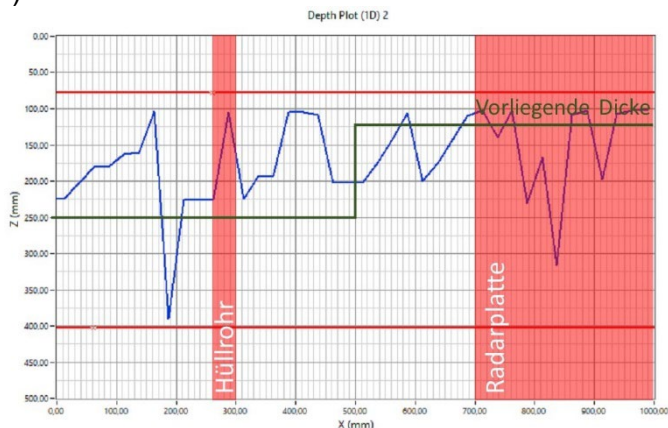


Abbildung 7: Messreihe 1 – Abstand $a_2=15$ cm

Eine Abweichung von ± 5 cm ist aufgrund der Lage des Sensors im Empfänger tolerierbar. Die weiteren Schwankungen zu kleineren Dicken deuten darauf hin, dass die Frequenz niedriger ist. Die Dicke d wird mit folgender Formel berechnet, wobei v_P die Longitudinalwellengeschwindigkeit und f_R die Resonanzfrequenz abbildet.

$$d = \frac{v_P}{2 * f_R}$$

Die abnehmende Frequenz resultiert sowohl aus dem höheren Abstand zu dem Empfänger als auch durch mögliche Abweichungen der Impulsstärke. Die Minderdicke ist am Rande kaum zu erkennen. In der dritten Datenerfassung, mit einem Abstand von $a_3=25$ cm, lässt sich der zuvor aufgestellte Verdacht bestätigen (vgl. Abbildung 8).

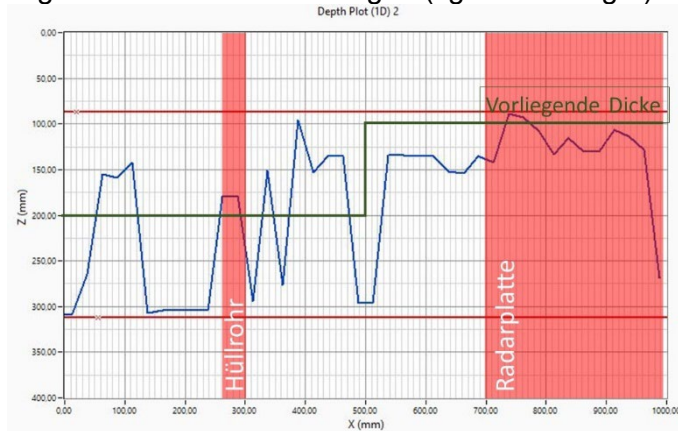


Abbildung 8: Messreihe 1 – Abstand $a_3=25$ cm

Durch den größeren Abstand wird kaum noch eine Dicke von $d=20$ cm wahrgenommen. Die geringer ausfallende Dickenmessung kann erneut auf die Frequenz zurückgeführt werden, da die Schallgeschwindigkeit in den Einstellungen des Programms konstant angenommen wird. Durch die Vielzahl der Peaks ist eine eindeutige Zuordnung des Spannglieds nicht möglich.

Alle Messkurven weisen im Randbereich hohe Abweichungen und Fehlmessungen auf. Der Grund dafür liegt darin, dass sich die elastischen Wellen nicht gleichmäßig innerhalb des Bauteils ausbreiten können. Dieser Effekt wird als Geometrieeffekt von kompakten Bauteilen bezeichnet [4].

Die Messungen entlang des Hüllrohrs (Messreihe 4) liefern bei keinem Abstand interpretierbare Ergebnisse (vgl. Abbildung 9).

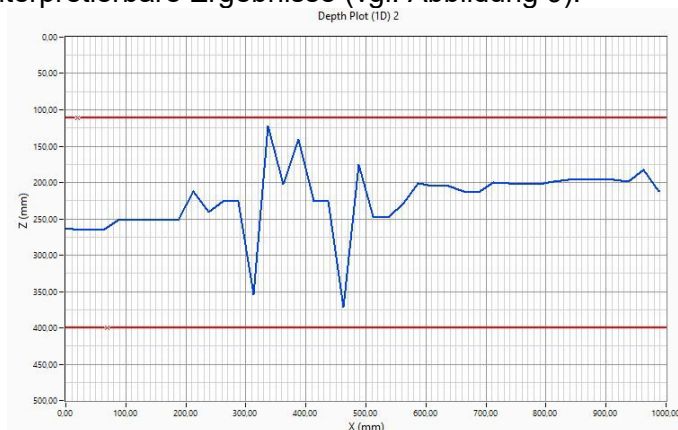


Abbildung 9: Messreihe 4 – Abstand $a_1=5$ cm

Die Untersuchungen zeigen, dass mit zunehmendem Abstand zwischen Impaktor und Sensor die Genauigkeit und die Brauchbarkeit der Ergebnisse abnimmt. Folglich ist ein möglichst geringer Abstand zu wählen.

Auf Grund des zeitlichen Rahmens dieser Arbeit war es nicht möglich eine große Anzahl an Messungen durchzuführen. Zur Verifizierung der Ergebnisse sind weitere Messungen notwendig, damit Messungenauigkeiten und Fehlmessungen detektiert und eliminiert werden.

Ein engeres Messraster würde vollständigere und genauere Ergebnisse erzielen, was die Auswertung und Interpretation ausweiten würde.

Das Trigger Level wurde auf 0,01 V festgelegt und ist somit sehr empfindlich. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass neben den Impulsen des Impaktors weitere Impulse aufgenommen wurden und dadurch Messfehler auftraten.

Die vorgestellten Ergebnisse dieser Arbeit beziehen sich ausschließlich auf einen niedrigen Frequenzbereich, da als Impaktor eine Stahlkugel mit dem Durchmesser $D=1,2$ cm verwendet wurde. Messungen mit kleinen Impaktoren ermöglichen Ergebnisse im kleineren Frequenzbereich.

Weiterhin sind Untersuchungen zu der Differenzierung der Impulskraft zu führen. Händisch ist es unmöglich den Impuls mit einer identischen Kraft auszulösen.

Für die Interpretation der Lagebestimmungen von Fehlstellen und Bewehrungen sind weitere Forschungen zu der exakten Lage der Messungen erforderlich. Fraglich ist, ob das Messergebnis die Betonstruktur im Sensor- oder Impaktorbereich darstellt.

Diese Untersuchung kann Erkenntnisse dazu liefern, ob es zu einer örtlichen Verschiebung der gemessenen Störstellen, Dicken und Bewehrungen bei Variierung des Abstandes kommt.

Quellenangabe:

[1] Bastert, H.; Taffe, A.; Willmes, M. (2014). Zerstörungsfreie Prüfverfahren in der Praxis – Möglichkeiten und Grenzen. *Beton- und Stahlbetonbau*, Heft 7, S. 496-499

[2] Schickert, M.; Neisecke, J.; Flohrer, J.; Grosse, Ch.; Krause, M.; Kroggel, O.; Krüger, M.; Willmes, M. (2012). *DGZfP-Merkblatt B11: Merkblatt über die Anwendung des Impakt-Echo-Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen*. DACH-Jahrestagung 2012 in Graz - Poster 6. <https://www.ndt.net/article/dgzfp2012/papers/p6.pdf>

[3] Sansalone, M.J.; Streett, W.B. (1998). *The Impact-Echo Method*. <https://www.ndt.net/article/0298/streett/streett.htm>

[4] Algernon, D.; Feistkorn, S.; Scherrer, M. (2016). *Zerstörungsfreie Untersuchung von Betonbauteilen mit dem Impact-Echo-Verfahren*. Fachtagung Bauwerksdiagnose 2016 – Poster 7