

Vergleich von Radarmessungen in Reflexion und Transmission zur Detektierbarkeit von Lufteinschlüssen in Betonbauteilen

Christiane TRELA *, Thomas KIND *, Marcus SCHUBERT *
* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Kurzfassung

Die meisten Infrastrukturbauwerke in Deutschland sind aus Stahlbeton. Bei der Fertigung solcher Stahlbetonteile können beim Betonieren Verdichtungsmängel auftreten. Vor allem bei sehr dicht bewehrten Bauteilen, wo nur erschwert Beton eingefüllt und verdichtet werden kann, können dabei Lufteinschlüsse entstehen. Um solche Bereiche verminderter Betonqualität zerstörungsfrei aufzufinden, wurde in der Vergangenheit die Ultraschallprüfung vorrangig angewendet. Das Impulsradarverfahren mit hochfrequenten Antennen in Reflexion ist hingegen als Nachweisverfahren besonders dann geeignet, wenn metallische Einbauteile, wie Bewehrungsstäbe und Spannkanäle geortet werden müssen. Dies ist begründet in deren hoher Reflektivität. Lufteinschlüsse dagegen sind nur schwache Reflektoren bzw. Streuer und somit besonders schwer hinter Bewehrung detektierbar.

Wird das Impulsradarverfahren jedoch in Transmission angewendet, verändert sich die Situation. Die metallischen Einbauteile führen im Wesentlichen zu einer Dämpfung während der Wellenausbreitung durch das Bauteil. Die Lufteinschlüsse bewirken eine signifikante Amplitudenverringerng des Ersteinsatzes, die messbar ist. Der gleichzeitige Laufzeitvorsprung verstärkt diesen Effekt und versagt bei sehr kleinen Lufteinschlüssen.

Die unterschiedliche Sensitivität dieser beiden Messmethoden, Reflexion und Transmission, auf die Detektion von Lufteinschlüssen wird an einem Betontestkörper demonstriert. Dieser enthält definierte Lufteinschlüsse in Form von unterschiedlich großen Styroporkugeln, die direkt hinter und versetzt zu Bewehrungsstäben, in unterschiedlicher Tiefe eingebaut sind. Automatisiert wurde dieser Testkörper entlang von parallelen Messlinien, in einem sehr feinen Raster, mit verschiedenen Messkonfigurationen, wie Antennenfrequenz und –polarisation abgefahren. Durch den abschattenden Einfluss der oberflächennahen Bewehrung lassen sich die Styroporkugeln in den Reflexionsmessungen nur bis zu einer bestimmten Tiefe nachweisen. Bei den Transmissionsmessungen wurden alle Styroporkugeln unabhängig von der Tiefe, der Größe und der Lage zu den Bewehrungsstäben detektiert.

Mit der Transmissionsmessung ergibt sich somit eine neue, erfolgsversprechende Möglichkeit der Detektion von Lufteinschlüssen in Betonbauteilen mit Radar.

Vergleich von Radarmessungen in Reflexion und Transmission zur Detektierbarkeit von Lufteinschlüssen in Betonbauteilen

Christiane Trela, Thomas Kind, Marcus Schubert



Kiesnest mit Lufteninschlüssen

Bei Stahlbetonbauten kann es beim Betonieren zum Auftreten von Verdichtungsmängeln kommen. Diese können aufgrund von fehlendem Verbund, von Materialmischungen bis hin zum Auftreten von Hohlräumen eine Struktur- schwächung darstellen. Für die Qualitätssicherung müssen diese Verdichtungsmängel zerstörungsfrei geortet werden. Um solch eine Zustandsbewertung von Betonbauteilen machen zu können, bedarf es eines Blicks hinein in das Bauteil.

Das Impulsradarverfahren mit hochfrequenten Antennen ist ein zunehmend gefragtes Zerstörungsfreies Prüfverfahren im Bauwesen, vor allem wenn es um den Nachweis metallischer Einbauteile geht. Diese weisen eine hohe Reflektivität auf. Lufteninschlüsse hingegen reflektieren nur schwach, so dass die typischen Reflexionsmessungen an ihre Grenzen kommen. Eine erfolgversprechendere Möglichkeit sind Transmissionsmessungen, wenn das Bauteil zweiseitig zugänglich ist.



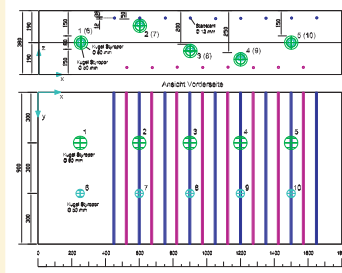
automatisierte Radarmessung

Testkörper und automatisierte Radarmessungen



Betontage des Testkörpers

Es wurden systematische Untersuchungen an einem Betontestkörper durchgeführt, um eine geeignete Messkonfiguration zu finden, die es ermöglicht, Lufteninschlüsse mittels elektromagnetischer Wellenausbreitung zu detektieren. In einem ersten Schritt wurden die Lufteninschlüsse in Form kleiner und mittelgroßer Styroporkugeln (SK) eingebaut. Die 8 cm großen Styroporkugeln liegen in der horizontalen Ebene bei $y = 0,3\text{ m}$ und die 5 cm großen SK bei $y = 0,6\text{ m}$. Von der Vorderseite des Testkörpers aus liegen die SK in unterschiedlicher Tiefe, immer mittig zwischen zwei senkrechten Bewehrungsstäben. Von der Rückseite aus liegen sie direkt dahinter. Zusätzlich liegt je eine Styroporkugel im unbewehrten Bereich.



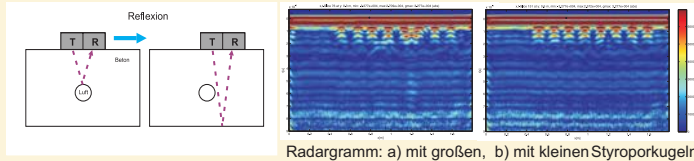
Zeichnungen vom Testkörper

Dieser Testkörper wurde beidseitig entlang von parallelen, horizontalen Messlinien in einem sehr feinen Raster wiederholt mit verschiedenen Messkonfigurationen abgefahren. Daten hoher Datenqualität und -dichte konnten durch ein lineares Scannersystem erzeugt werden. Der Messpunktabstand in Reflexion betrug 2 mm und in Transmission 2 mm in x- und 10 mm in y-Richtung.

Reflexionsmessungen

Sender- und Empfangsantenne waren jeweils auf einer Seite des Testkörpers positioniert und die reflektierten und rückwärtsgestreuten Signale wurden aufgezeichnet. Folgende Parameter wurden bei den verschiedenen Messungen variiert:

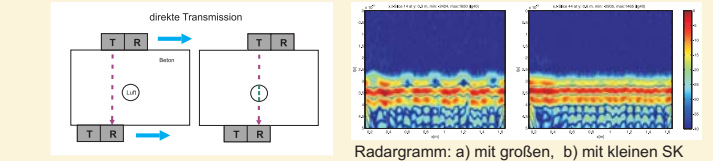
- Antennenfrequenz: 1,2 bis 2,6 GHz
- Antennenpolarisation: parallel (0°) und senkrecht (90°) zur Bewegungsrichtung
- Antennenpositionierung: auf der Vorder- und Rückseite des Testkörpers
- Antennenoffset: 4 bis 30 cm



Radargramm: a) mit großen, b) mit kleinen Styroporkugeln

Transmissionsmessungen

Die 1,5 GHz Sender- und Empfangsantenne standen sich direkt gegenüber und wurden gleichzeitig bewegt. Die Antenne war senkrecht zur Bewegungsrichtung polarisiert. Transmittierte bzw. vorwärtsgestreute Signale wurden aufgezeichnet. Durch die Styroporkugeln wird eine Laufzeitverkürzung der zuerst ankommenden Welle verursacht, da die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen in Luft deutlich größer ist als in Beton. Gleichzeitig wird das Signal durch den starken Materialkontrast deutlich geschwächt.

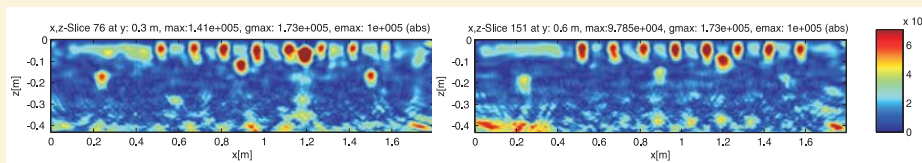


Radargramm: a) mit großen, b) mit kleinen SK

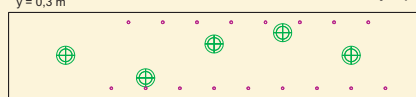
Detektion der Styroporkugel mit der 1,5 GHz Antenne - Reflexion -

Die Datenanalyse aller Messkonfigurationen zeigt, dass die 1,5 GHz Antenne mit einer Antennenpolarisation parallel zur Bewegungsrichtung und damit senkrecht zu den Bewehrungsstäben als einzige alle großen Styroporkugeln nach der 3D SAFT Rekonstruktion abbildet. Bei den kleineren Styroporkugeln fehlt die tiefstliegende. Die Messung von der Vorderseite zeigt die Styroporkugeln deutlicher, da sie weniger durch die Bewehrungsstäbe abgeschattet wurden. Die Daten wurden vor der 3D SAFT Rekonstruktion linear tiefenverstärkt und mehrfach verschieden gefiltert.

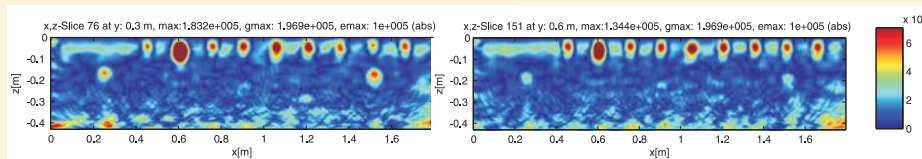
Radargramme nach der 3D Saft Rekonstruktion



Vorderseite - Styroporkugeln zwischen den Bewehrungsstäben



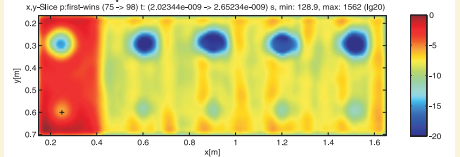
Rückseite - Styroporkugel verdeckt durch die Bewehrungsstäbe



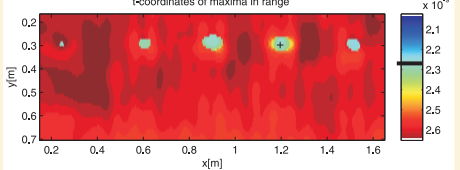
- Transmission -

Die Transmissionsmessung ist die effizientere Methode, sowohl in Hinsicht auf den Messaufwand als auch auf die Auswertung und die Aussagekraft, wenn nur die Detektion von Lufteninschlüssen gefordert ist und nicht die Bestimmung der Tiefenlage. Die Ergebnisse sind unabhängig von der Senderposition. Dargestellt ist das Ergebnis von der Vorderseite. Das Vorhandensein der Styroporkugeln zeigt sich vor allem in einem hohen Dynamikumfang der Amplitude, die Laufzeitauswertung ist deutlich weniger sensitiv und versagt bei den kleineren Styroporkugeln.

Maximalamplitude des Ersteinsatzes



Laufzeit



Zusammenfassung

Die Untersuchungen am Testkörper zeigen, dass die Transmissionsmessung besser geeignet ist als die Reflexionsmessung, um Kiesnester mit Lufteninschlüssen zu detektieren. Die transmittierten Wellen, die sich durch die Styroporkugeln ausbreiten, lassen sich durch eine verringerte Amplitude im Ersteinsatz sehr gut abbilden. Bei einer einseitigen Zugänglichkeit zum Bauteil wurden in Reflexion die besten Ergebnisse mit einer 1,5 GHz Antenne erzielt. Hierbei war die Antenne senkrecht zu den Bewehrungsstäben orientiert, wodurch der Einfluss der stark reflektierenden Bewehrung mit deren abschattender Wirkung weitgehend unterdrückt wird. Wie zu erwarten, lassen sich zwischen der Bewehrung liegende Styroporkugeln besser abbilden als diejenigen, die direkt hinter Bewehrung angebracht sind.