

# Systematische Radaruntersuchungen zum Auffinden von Strukturschwächungen in Betonbauteilen

Christiane TRELA \*, Thomas KIND \*, Marcus SCHUBERT \*, Martin GÜNTHER \*

\* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

## Kurzfassung

Das Impulsradarverfahren mit hochfrequenten Antennen ist ein geeignetes Nachweisverfahren, das zerstörungsfrei durch elektromagnetische Wellenausbreitung Strukturen im Inneren von Bauteilen abbilden kann. Bei der Qualitätssicherung und Zustandsbewertung im Bauwesen wird zunehmend die Suche nach Strukturschwächungen angefragt. Dies können Entmischungen, lokale Kiesnester bis hin zu Hohlräumen sein. Diese Strukturschwächungen stellen in vielerlei Hinsicht eine besondere Herausforderung an das Radarverfahren dar. Sie sind vor allem oberflächennah anzutreffen und dort, wo die Betonbauteile sehr dicht mit Stahl bewehrt sind und erzeugen nur schwache Messsignale.

An zwei unterschiedlich bewehrten Betontestkörpern wurden automatisierte Messungen in Reflexionsanordnung und in direkter Transmission durchgeführt. Definiert eingebaute Styroporkugeln in unterschiedlicher Größe und Tiefenlage stellen die Strukturschwächungen dar. Im unbewehrten Bereich liegen Styroporkugeln als Referenz.

Es hat sich gezeigt, dass wie erwartet, die Bewehrungsstäbe das dominierende Reflexionsmuster erzeugen. Durch eine geeignete Wahl der Antennenfrequenz und -polarisation, sowie Datenprozessingschritte und Darstellungsparameter lässt sich das schwache Abbild der Styroporkugeln verbessern. Die besten Ergebnisse in den Reflexionsmessungen wurden mit einer 1,5 GHz Antenne erzielt, wenn die Antenne nicht parallel zu den Bewehrungsstäben polarisiert war. Mit einem 3D SAFT Algorithmus wurden die Daten rekonstruiert und mehrfach gefiltert und amplitudenverstärkt für die Darstellung.

Deutlich besser geeignet zur ausschließlichen Detektion der simulierten Strukturschwächungen sind die Transmissionsmessungen. Voraussetzung ist jedoch eine zweiseitige Zugänglichkeit zum Bauteil. Die transmittierten Wellen, die sich durch die Styroporkugeln ausbreiten, lassen sich im Frequenzbereich von 1,2 GHz bis 2,6 GHz durch eine verringerte Amplitude im Ersteinsatz sehr gut abbilden und dies unabhängig von ihren Abmessungen und Tiefenlage. Die Wahl der Antennenfrequenz und auch der Polarisation spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Ein weiterer Vorzug ist der geringe Aufwand in der Messdurchführung und Datenauswertung.



# Systematische Radaruntersuchungen zum Auffinden von Strukturschwächungen in Betonbauteilen

Christiane Trela, Thomas Kind, Marcus Schubert, Martin Günther



Kiesnest mit Luftporen

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

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. Luftporen hingegen reflektieren nur schwach, so dass die typischen Reflexionsmessungen an ihre Grenzen kommen. Erfolgsversprechender sind Transmissionsmessungen, wenn das Bauteil zweiseitig zugänglich ist.



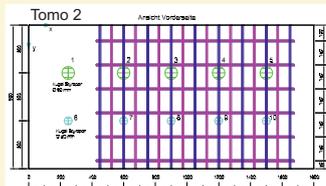
Automatisierte Radarmessung

## Automatisierte Radarmessungen an Testkörpern



Betonage Tomo 1

Systematische Untersuchungen wurden an zwei verschiedenen bewehrten Betontestkörpern Tomo 1 (nur senkrechte Bewehrung) und Tomo 2 (Maschenbewehrung) durchgeführt. Unterschiedlich tief eingebaute, 5 cm und 8 cm große Styroporkugeln stellen Strukturschwächungen dar. Von der Vorderseite des Testkörpers aus sind sie versetzt zu den Bewehrungsstäben, von der Rückseite aus liegen sie direkt dahinter. Eine Styroporkugel liegt jeweils im unbewehrten Bereich als Referenz.



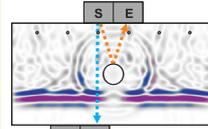
Zeichnung vom Testkörper Tomo 2 mit senkrechter und waagerechter Bewehrung

In einem ersten Schritt wurde am Tomo 1 beidseitig mit Hilfe eines linearen Scannersystem gemessen. Entlang von parallelen, horizontalen Messlinien in einem sehr feinen Raster von bis zu 2 mm x 2 mm wurde dieser wiederholt mit verschiedenen Messkonfigurationen abgefahren. Basierend auf diesen Messerfahrung wurden die Messungen am Tomo 2 geplant.

Es wurden sowohl Radarmessungen im Reflexionsanordnung als auch Transmissionsanordnung durchgeführt, dies zum Teil auch gleichzeitig als Mehrkanalmessungen.

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

**Reflexionsmessung:**  
starke Reflexionen von der Bewehrung zeitlich vor der schwachen Reflexion vom dem Luftporen



**Transmissionsmessung:**  
deutlich abgeschwächte, aber zeitlich schnellere transmittierte Welle durch den Luftporen als von der Bewehrung

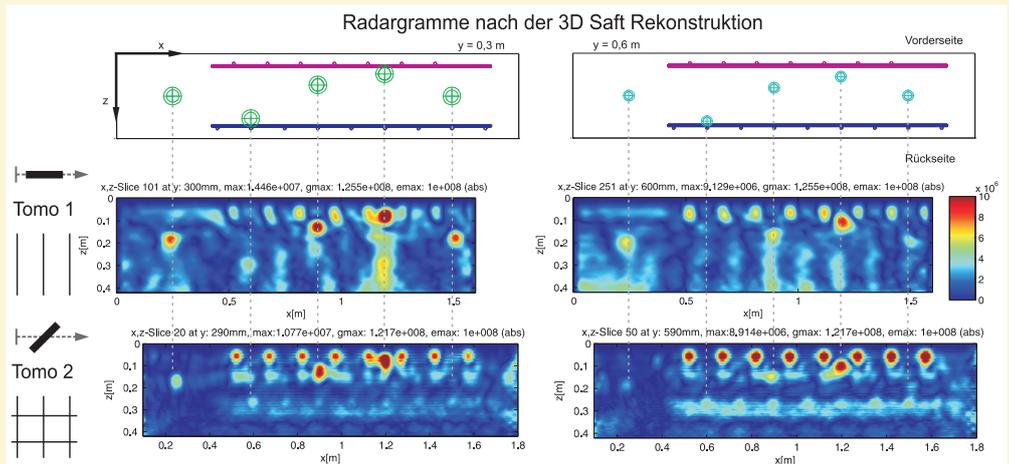
- ▶ Antennenfrequenz: 1,2 bis 2,6 GHz
- ▶ Antennenpolarisation zur Bewehrung: parallel, 45° gedreht und senkrecht
- ▶ Antennenpositionierung: auf der Vorder- und Rückseite
- ▶ Antennenoffset: 4 bis 30 cm

Bei den Transmissionsmessungen standen sich Sender- und Empfangsantenne direkt gegenüber und wurden gleichzeitig bewegt. Transmittierte bzw. vorwärtsgestreute Signale wurden aufgezeichnet. Auch hier wurde mit verschiedenen Antennenfrequenzen und -polarisationen von beiden Seiten gemessen.

## Reflexionsmessungen

Die Datenanalyse aller Messkonfigurationen am Tomo 1 zeigt, dass die 1,5 GHz Antenne mit einer Antennenpolarisation parallel zur Bewegungsrichtung und damit senkrecht zu den Bewehrungsstäben neben der 1,2 GHz Antenne 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.

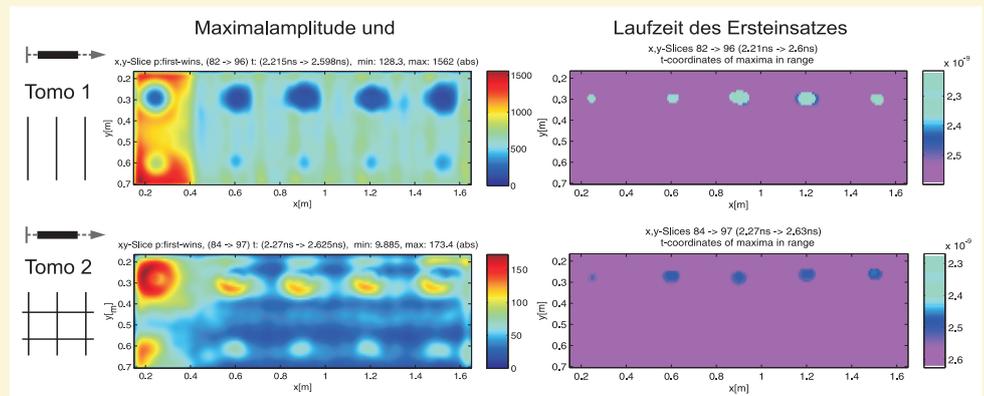
Am Tomo 2 mit der zusätzlichen waagerechten Bewehrung konnte mit einer um 45° gedrehten Antennenpolarisation die meisten Styroporkugeln lokalisiert werden.



Radarmessungen mit der 1,5 GHz Antenne auf der Testkörpervorderseite mit den Styroporkugeln zwischen den Bewehrungsstäben

## Transmissionsmessungen

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 Luftporen gefordert ist und nicht die Bestimmung der Tiefenlage. Die Ergebnisse sind unabhängig von der Senderposition. Dargestellt sind jeweils 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. Die waagerechten Bewehrungsstäbe beim Tomo 2 verschlechtern die Abbildung der großen Styroporkugeln zwar, aber verhindern sie nicht.



Radarmessungen mit den 1,5 GHz Antennen mit einer Antennenpolarisation parallel zu den waagerechten Bewehrungsstäben

## Zusammenfassung

Die Untersuchungen an den Testkörpern zeigen, dass die Transmissionsmessung besser geeignet ist als die Reflexionsmessung, um Luftporen zu detektieren. Die transmittierten Wellen, die sich durch die Styroporkugeln ausbreiten, lassen sich im untersuchten Frequenzbereich von 1,2 GHz bis 2,6 GHz durch eine verringerte Amplitude im Ersteinsatz gut abbilden. Bei einer einseitigen Zugänglichkeit zum Bauteil werden in Reflexion die besten Ergebnisse mit einer 1,5 GHz Antenne erzielt, wenn die Antenne nicht parallel zu den Bewehrungsstäben polarisiert ist.