

Die verborgenen Geheimnisse des Betons aufdecken: Was GPR enthüllen kann (und was nicht)

Erzielen Sie optimale Ergebnisse bei der zerstörungsfreien Prüfung von Betonstrukturen

Das Bodenradar (Ground Penetrating Radar, GPR) hat sich schnell zu einer beliebten zerstörungsfreien Methode für Betonuntersuchungen entwickelt, da es in der Industrie in vielen Bereichen eingesetzt werden kann, von der einfachen Treffervermeidung bis zur Analyse der strukturellen Kapazität. GPR ist das ultimative Werkzeug für die Kartierung von Objekten in Stahlbeton und liefert klare Bilder von Metallobjekten wie Bewehrungsstäben oder vorgespannten Kabeln. GPR funktioniert so gut bei der Kartierung der Bewehrung, dass manchmal die Grenzen dessen, was es finden kann und was nicht, vergessen werden. Dies kann zu unvollständigen Informationen darüber führen, was sich im Beton befindet. Es ist wichtig, die Wissenschaft hinter einem GPR-Scangerät zu kennen, um seine Fähigkeiten und Grenzen zu verstehen und zu wissen, was es für den Bediener leisten kann.

GPR-Geräte bestehen aus einer oder mehreren Antennen mit einem Sender und einem Empfänger. Der Sender sendet elektromagnetische Wellen in den Beton. Wenn die Wellen auf Materialgrenzen treffen, wird ein Teil der Wellenenergie reflektiert und von der Antenne empfangen. Die Reflexionszeiten und die Energie werden aufgezeichnet, und wenn die Daten über eine gewisse Entfernung gesammelt werden, wird ein Querschnittsbild des Betons erstellt (Abbildung 1). Objekte werden oft als Hyperbeln dargestellt, da die Ankunftszeit der zurückkehrenden Welle abnimmt, je näher das Gerät dem Objekt kommt. Wenn sich das Gerät direkt über dem Objekt befindet, ist die Ankunftszeit am kürzesten, wodurch die Spitze der Hyperbel entsteht. Wenn sich das Gerät entfernt, verlängert sich die Ankunftszeit, und die zweite Hälfte der Hyperbel wird gebildet. Handelt es sich bei dem Objekt nicht um einen einzelnen Punkt, sondern um einen über die gesamte Scanlänge konstanten Punkt, wie z. B. die gegenüberliegende Seite des Betons (Rückwand), wird keine Hyperbel gebildet. Stattdessen erscheint eine konstante Ankunftszeit der Reflexion wie ein Band auf dem Querschnitt.

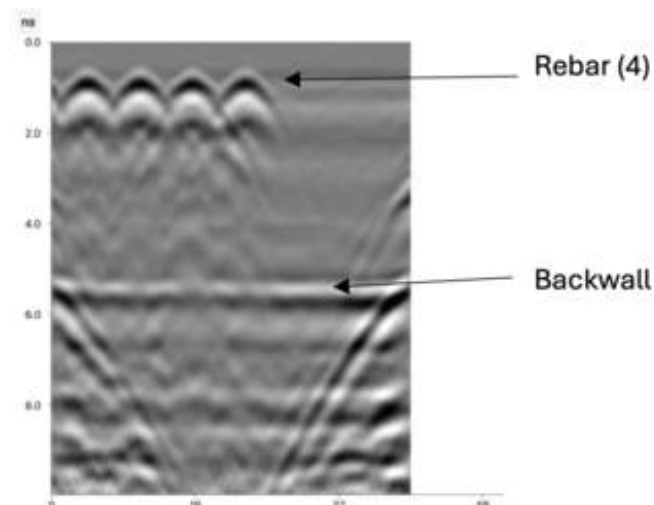


Figure 1: Typical GPR image, called radargram, with rebar and backwall

Zwar werden Wellen reflektiert, wenn sie auf eine Materialgrenze treffen, doch der entscheidende Punkt ist, dass die Wellenreflexion von einer einzigen Materialeigenschaft abhängt - der Dielektrizitätskonstante. Die Dielektrizitätskonstante oder relative Permittivität gibt an, wie gut ein Material Elektrizität leitet. Beton hat in der Regel einen Wert zwischen 7 und 12, je nach Mischungsdesign und Wassergehalt. Wenn die Radarwelle auf ihrem Weg durch den Beton auf ein Material trifft, das eine deutlich andere Dielektrizitätskonstante aufweist, wird ein Teil der Wellenenergie entsprechend dem Ausmaß des Unterschieds reflektiert. Metalle sind ein fantastischer elektrischer Leiter und haben eine unendliche Dielektrizitätskonstante. Dieser unendliche Unterschied zwischen Beton und Metall ist der Grund für das starke Rücksignal und die deutliche Hyperbel bei Stahlbewehrungen wie Betonstahl.

Andere Materialien, die häufig in Beton vorkommen, sind Luft und Kunststoff. Luft kann entweder die Gegenseite einer erhöhten Platte sein oder ein wesentlicher innerer Defekt wie eine fehlende Konsolidierung, Wabenbildung oder ein Delaminationsriss. Luft hat eine Dielektrizitätskonstante von 1, so dass die Reflexion schwächer ist als bei Metallen, aber dennoch oft auf dem Scan sichtbar ist. Allerdings handelt es sich bei diesen Reflexionen selten um saubere Hyperbeln. Die gegenüberliegende Seite des Betons erscheint, wie bereits erwähnt, als Bänderung. Ein Hohlraum ist selten schön geformt, und die Hyperbel wird eher verzerrt erscheinen (Abbildung 2). Kunststoff wird häufig für elektrische Leitungen verwendet und hat eine Dielektrizitätskonstante von etwa 4. Der Unterschied zwischen Beton und Kunststoff ist viel geringer als bei anderen Materialien und aufgrund des schwachen Signals bei einem GPR-Scan schwieriger zu erkennen.

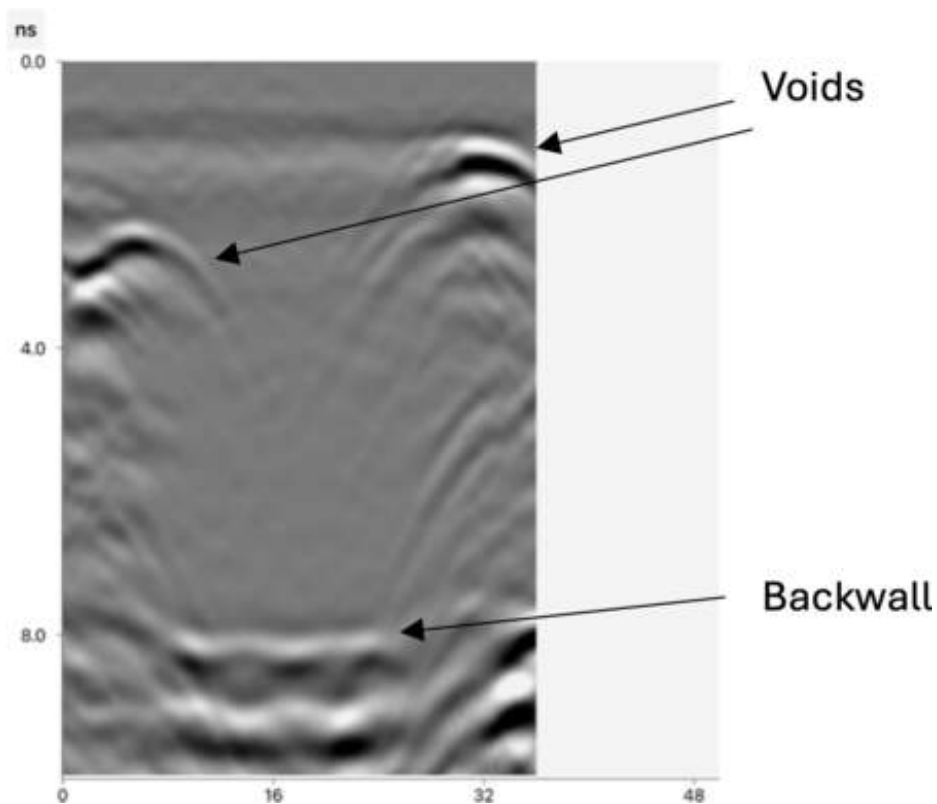


Figure 2: GPR scan showing air in concrete

Betrachten Sie die folgende Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle. Die Ankunftszeit wird vom Gerät gemessen, und die Lichtgeschwindigkeit ist ein bekannter Wert. Wenn die Dielektrizitätskonstante geschätzt wird, entweder durch Hyperbelanpassung oder durch Kalibrierung anhand einer bekannten Tiefe, kann die Tiefe eines beliebigen Objekts berechnet werden. Da die Dielektrizitätskonstante von Beton einen großen Bereich aufweist, ist es wichtig, für verschiedene Betonmischungen zu kalibrieren.

Gleichung 1:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

Wo;

v ist die Geschwindigkeit der Welle

d ist der Abstand zum Objekt

t ist die Ankunftszeit

c ist die Lichtgeschwindigkeit

ϵ ist die Dielektrizitätskonstante.

Der Wassergehalt des Betons kann sich ebenfalls auf die Dielektrizitätskonstante auswirken und sollte entsprechend kalibriert werden. Wasser hat eine Dielektrizitätskonstante von 81, die viel höher ist als die von Beton. Wenn der Beton gesättigt ist, erhöht sich die Dielektrizitätskonstante des Systems, und das Wasser streut die Wellenenergie. Dadurch entstehen unscharfe Bilder, die schwer oder gar nicht zu interpretieren sind. GPR sollte nicht bei frischem Beton eingesetzt werden, da die Technologie erheblich eingeschränkt ist, bis der Beton vollständig ausgehärtet ist und der Wassergehalt sinkt.

Die GPR-Sichttiefe hängt von mehreren Faktoren ab, unter anderem von der Struktur, dem Beton, der Umgebung und dem [GPR-Gerät](#). Metallische Objekte reflektieren 100 % der Wellenenergie, was bedeutet, dass das Metallobjekt deutlich sichtbar ist, aber nichts unter dem Metall zu sehen ist. Dies kann ein Problem bei der Visualisierung von gestapelten Bewehrungsstäben oder von Objekten sein, die unterhalb des Bewehrungsgitters verlaufen (Abbildung 3). Dies ist ein großes Problem bei stahlfaserverstärktem Beton, da die Fasern die Wellen nicht durchlassen, so dass es keine visuelle Tiefenwirkung gibt. Enge Abstände zwischen den Bewehrungsstäben können ebenfalls ein Problem darstellen, da die Welle nicht genügend Platz hat, um ein Gitter effektiv zu durchdringen (Abbildung 3). Auch hier können darunter liegende Objekte, einschließlich der Rückwand, verdeckt werden, was die Dickenmessung erschwert. Einige GPR-Geräte können eine Kreuzpolarisation durchführen, bei der die Antennenausrichtung gedreht wird, so dass mehr Wellenenergie an einem Objekt vorbeigeleitet werden kann. Dies führt zu einer Hyperbel mit kürzeren Ausläufern für Metallobjekte, kann aber eine sauberere Rückwand ermöglichen.

Weitere Faktoren, die die mögliche Eindringtiefe bestimmen, sind die Sättigung und die Qualität des Betons. Wenn die GPR-Wellen mit dem Wasser interagieren, geht Energie verloren, und die Eindringtiefe wird verringert (Abbildung 3). Bei minderwertigem Beton sind mehr Hohlräume und Risse vorhanden, die jeweils eine zusätzliche Grenze darstellen, die es zu überqueren gilt, und bei denen ein entsprechender Energieverlust durch die Reflexion entsteht. Je schlechter die Betonqualität ist, desto geringer ist die Eindringtiefe.

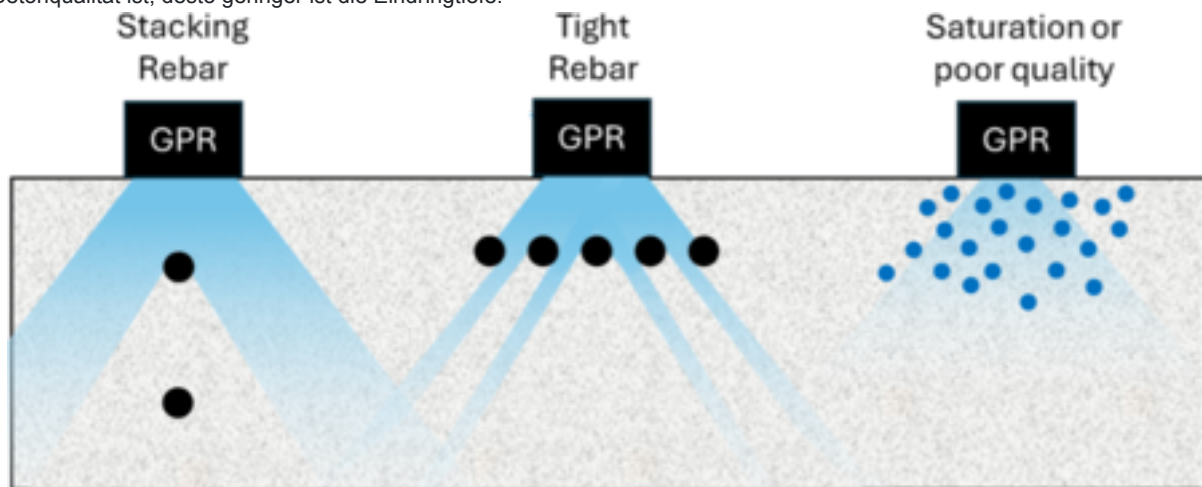


Figure 3: Factors limiting GPR imaging

Die Eindringtiefe lässt sich in gewissem Umfang steuern. Wenn der Sender elektromagnetische Wellen aussendet, geschieht dies mit einer bestimmten Frequenz, die die Anzahl der in einem bestimmten Zeitraum auftretenden Wellen bestimmt. Dies bestimmt die Auflösung des Bildes. Je höher die Frequenz ist, desto besser ist die Auflösung, aber desto geringer ist die Eindringtiefe. Niedrigere Frequenzen haben keine scharfe Auflösung, können aber tiefere Objekte abbilden. Bei einigen Geräten kann der Benutzer die gewünschte Eindringtiefe wählen, indem er mehrere Antennenoptionen mit jeweils einer bestimmten gepulsten Frequenz hat. Eine neuere Methode, die so genannte Stufenfrequenz-Durchlaufwelle, bietet stattdessen einen extrem breiten Frequenzbereich, so dass sowohl Auflösung als auch Tiefenwirkung erreicht werden.

GPR ist eine hervorragende Methode für die Objektkartierung in der Betonindustrie. Es ist jedoch wichtig, die Grenzen des Geräts sowie die Qualität und den Zustand des Betons zu kennen, um das Vertrauen in einen Scan zu erhöhen. Die Kalibrierung der Dielektrizitätskonstante bei jeder Veränderung des Betons ist für genaue Tiefenschätzungen von entscheidender Bedeutung. Berücksichtigen Sie die Qualität und die Umgebung des Betons, um sicherzustellen, dass der Beton trocken genug für einen ordnungsgemäßen Scan ist und die gewünschte Eindringtiefe erreicht wird. Auch die gewählte Antennenfrequenz, entweder gepulst oder in Stufen, ist wichtig, wenn es um die Auflösung oder die Eindringtiefe geht.

Katelyn Gennuso, Ph.D., ist Lösungsberaterin für das CSDA-Mitglied Proceq - A Screening Eagle Company. Sie hat einen Dokortitel in Bauingenieurwesen von der University of Pittsburgh, mit Schwerpunkt auf Betonbelägen. Katelyn ist eine Bauingenieurin mit Erfahrung in den technischen Aspekten der zerstörungsfreien Prüfung, häufig im Zusammenhang mit der Analyse von Betonstrukturen. Sie ist unter Katelyn.Gennuso@screeningeagle.com zu erreichen.



[Terms Of Use](#)
[Website Data Privacy Policy](#)

Copyright © 2024 Screening Eagle Technologies. All rights reserved. The trademarks and logos displayed herein are registered and unregistered trademarks of Screening Eagle Technologies S.A. and/or its affiliates, in Switzerland and certain other countries.