

Ortung und Unterscheidung von Querspanngliedern hinter schlaffer Bewehrung mit dem Radarverfahren in einer Fahrbahnplatte

Thomas KIND*⁺, Jochen H. KURZ**⁺, Alexander TAFFE*, Jens WÖSTMANN*

* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

** Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

(⁺ Kontakt: thomas.kind@bam.de)

Kurzfassung. Anhand eines erfolgreichen Messeinsatzes an einer Spannbetonbrücke, deren Querspannglieder zuverlässig lokalisiert und nachfolgend instandgesetzt werden sollen, wird die Vorgehensweise der Radarmessung mit zwei verschiedenen Polarisationsrichtungen der Antenne zur Unterscheidung von unterschiedlichen Arten der Bewehrungen ausführlich erklärt. Das Radarverfahren eignet sich sehr gut für die zerstörungsfreie Ortung von Bewehrung in Stahlbetonbauwerken. Insbesondere lässt sich mit dem Verfahren vorgespannte Bewehrung bis in einer Tiefe von ca. 30 cm und bei einem normalen Bewehrungsgrad (Maschenweite >10 cm) der schlaffen Bewehrung zuverlässig auffinden. Seit einigen Jahren wird das Radarverfahren erfolgreich im Vorfeld einer schadensfreien Kernbohrung im Rahmen von Ertüchtigungsmaßnahmen von Stahlbetonbrücken mit externen Spanngliedern angewendet. Aufgrund der Lage und dem Verlauf der vorgespannten Bewehrung in Hohlkastenseitenwänden und Plattenbalken kann eine vorgespannte Bewehrung von schlaffer Bewehrung in diesen Bauwerken sehr gut unterschieden werden. Diese Unterscheidungsmerkmale lassen sich aber bei Querspanngliedern in einer Fahrbahnplatte nur selten anwenden, da häufig die Überdeckung und der Abstand der schlaffen Bewehrung und der Querspannglieder ähnlich sind. In diesem Beitrag wird beschrieben, wie der gezielte Einsatz verschiedener Polarisationsrichtungen der Antenne zu einer zuverlässigen Unterscheidung von schlaffer Bewehrung und Spanngliedern beiträgt und damit zu einer verbesserten bildgebenden Darstellung der inneren Konstruktion der Fahrbahnplatte führt.

Einführung

Eine erfolgreiche Spanngliedortung mit Radar hängt neben der maximalen Detektionstiefe und dem vorhandenen Bewehrungsgrad auch wesentlich vom Verlauf der Spannglieder ab [1]. Eine Unterscheidung zwischen dünnen Bewehrungsstäben und dicken metallischen Hüllrohren anhand der Reflexionen elektromagnetischer Wellen ist nicht eindeutig möglich und wird daher bisher in der Praxis nicht durchgeführt. Besonders kritisch ist die Unterscheidung bei der Ortung von Querspanngliedern, da diese häufig parallel zur schlaffen Bewehrung verlaufen und sich somit schlecht unterscheiden lassen. Die Ortung von Längsspanngliedern mit Radar ist weniger kritisch, da allein durch den typischen



schrägen Verlauf des Hüllrohres eine Unterscheidung von der schlaffen Bewehrung möglich ist [2].



Abb. 1: Längsspanngliedortung an einem Brückenbalken mit Messschablone



Abb. 2: Querspanngliedortung auf einer Fahrbahnplatte mit Messschablone

Bei geschicktem Einsatz verschiedener Antennenpolarisation bei der Radarmessung kann die Unsicherheit der Unterscheidung zwischen Querspanngliedern und schlaffer Bewehrung erheblich reduziert werden.

Bisher wird die Antennenpolarisation bei der Bewehrungsortung im Wesentlichen dazu genutzt, möglichst die gesamte Bewehrung zu orten, indem zwei parallele Messliniensätze aufgenommen werden, die zueinander senkrecht stehen. Dabei wird die Eigenschaft der Antennenpolarisation dahingehend ausgenutzt, dass die Reflexion maximal ist, wenn die Richtung der Antennenpolarisation parallel zur Bewehrung orientiert ist. Eine weitere aber weniger oft ausgenutzte Eigenschaft der Antennenpolarisation ist, dass die Abhängigkeit der Reflexionsstärke von der Orientierung der Antennenpolarisation bei der Ortung von Bewehrung abnimmt, wenn der Bewehrungsdurchmesser zunimmt [1]. Diese Eigenschaft kann genutzt werden, um die Unterscheidung zwischen einer dünnen schlaffen Bewehrung und des dickeren Hüllrohres der vorgespannter Bewehrung in der Praxis vorzunehmen.

1. Grundlagen und Vorgehensweise

1.1 Bedeutung der Antennenpolarisation

Radaranntenen die im Bauwesen eingesetzt werden, sind Dipole, deren abgestrahltes elektromagnetisches Feld eine Vorzugsrichtung hat, in der die elektrische Feldstärke am größten ist. Für die Bewehrungsortung werden Radaranntenen verwendet, die aus zwei einzelnen Sende- und Empfangsanntenen bestehen und in einem gemeinsamen Gehäuse eingebaut sind. Ähnlich wie bei Radio- oder Fernsehantennen werden die Sende- und Empfangsdipole so ausgerichtet, dass die jeweiligen Antennenpolarisationen parallel zueinander orientiert sind. Ein paralleler Einbau der Dipole gewährt eine gute Empfangsstärke beim Erfassen von Reflexionen. Für die weitere Betrachtung ist es unerheblich, zwischen Sende- und Empfängerantenne zu unterscheiden, weshalb auch nur noch von einer Antennenpolarisation gesprochen wird, die der gleichen gemeinsamen Antennenpolarisation von Sende- und Empfängerantenne entspricht. In den folgenden Abbildungen wird die Orientierung der Antennenpolarisation als blauer Pfeil dargestellt.

1.2 Gezielter Einsatz von Antennenpolarisation und -orientierung

An flächigen Reflektoren spielt die Orientierung der Antennenpolarisationen zum Reflektor keine Rolle, da in allen Richtungen die einfallende Welle gleich gut reflektiert wird. Hat

der Reflektor aber eine ausgeprägte geometrische Form, ist die Stärke der Reflexion von der Orientierung der Antenne zur Richtung des Reflektors abhängig. Besonders ausgeprägt ist diese Eigenschaft bei dünnen metallischen Stäben, wie z. B. schlaffen Bewehrungsstäben. Die Reflexion an einer Bewehrung wird am stärksten, wenn die Antenne so ausgerichtet wird, dass die Antennenpolarisation parallel zum Bewehrungsstab liegt. Anschaulich lässt sich die Abhängigkeit der Reflexionsstärke von der Antennenorientierung bei der Bewehrungsortung durch die vom einfallenden elektrischen Feld erzeugten Leitungsströmen auf der Oberfläche des sehr gut leitenden metallischen Bewehrungsstabs erklären. Dieser Strom kann ungehindert dem Feld entlang der langen Bewehrung folgen. Im Gegensatz dazu, bei senkrecht zum Bewehrungsstab einfallenden elektrischen Feld, steht für den Stromfluss nur der kleine Querschnitt der Bewehrung zur Verfügung. Aus diesem Grund wird die Antenne meistens so geführt, dass die Antennenpolarisation senkrecht zum Messweg orientiert ist, damit bei Überführung der Antenne über einen Bewehrungsstab die Reflexion maximal wird, wie in Abb. 3 dargestellt.

In Abb. 4 ist dieselbe Messlinie dargestellt wie in Abb.3, aber mit um 90° gedrehter Antennenpolarisation. Durch die ungünstigere Orientierung der Polarisation zu den Bewehrungsstäben verschwinden die Reflexionen der dünnen schlaffen Bewehrung in einer Tiefe von etwa 17 cm fast vollständig und es bleiben nur die schwächeren Reflexionshyperbeln der dickeren Hüllrohre im Radargramm in den Tiefen von etwa 17 und 22 cm sichtbar.

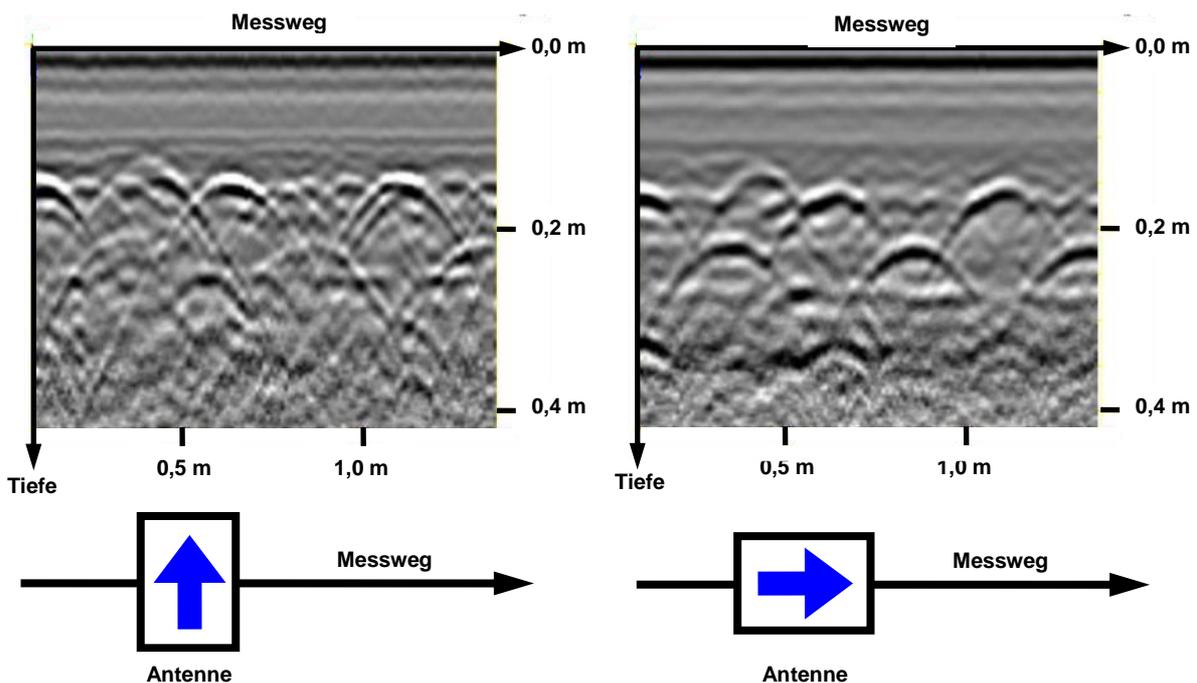


Abb. 3: Radargramm aufgenommen auf einer Fahrbahnplatte entlang der Fahrspur; Antennenpolarisation (blauer Pfeil) senkrecht zum Messweg

Abb. 4: Radargramm, wie in Abb 3 aufgenommen aber mit um 90° gedrehter Polarisation

1.3 Herkömmliche 3D Messungen

Für eine herkömmliche vollständige 3D Rekonstruktion der Bewehrung von Stahlbetonkonstruktionen und die Erstellung von Tiefenschnitten werden beim Radarverfahren Messlinien in zwei Richtungen entlang einer Schablone aufgenommen, die zu einander senkrecht stehen (s. auch Abb. 1 und 2). Für die Erfassung aller Bewehrung mit

unterschiedlichen Querschnitten ist die Antennenpolarisation senkrecht zu den Messlinien orientiert. Die Schar von parallelen Messlinien in der jeweiligen x- und y-Richtung ergibt zunächst jeweils eine Teilrekonstruktion der Bewehrungen (Abb. 5 u. 6), die senkrecht zu den Messlinien verlaufen. Die vollständige 3D Rekonstruktion ergibt sich aus der Überlagerung beider Teilrekonstruktionen (Abb. 7). Aus der Überlagerung lässt sich dann ein Bewehrungsplan der vorhandenen Bewehrung erstellen (Abb. 7, links).

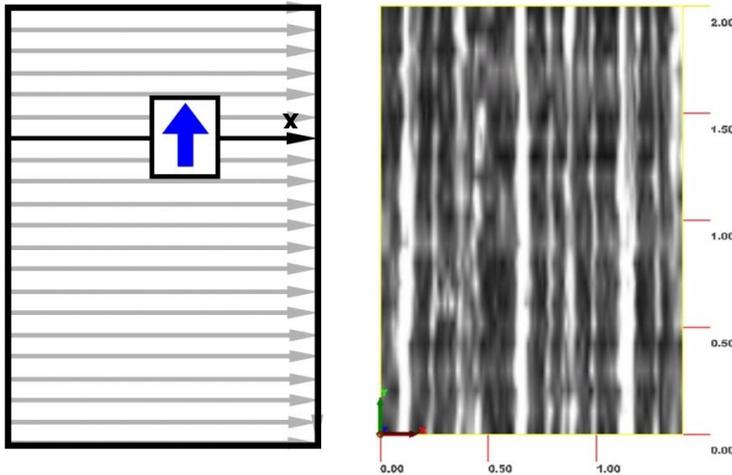


Abb. 5: Lage der Messlinien und Orientierung der Antennenpolarisation (links), Tiefenschnitt (0 - 30 cm) der in x-Richtung orientierten Messlinien (rechts); alle Bewehrungen werden dargestellt die senkrecht von der Antenne überfahren werden, wie auch in Abb. 6

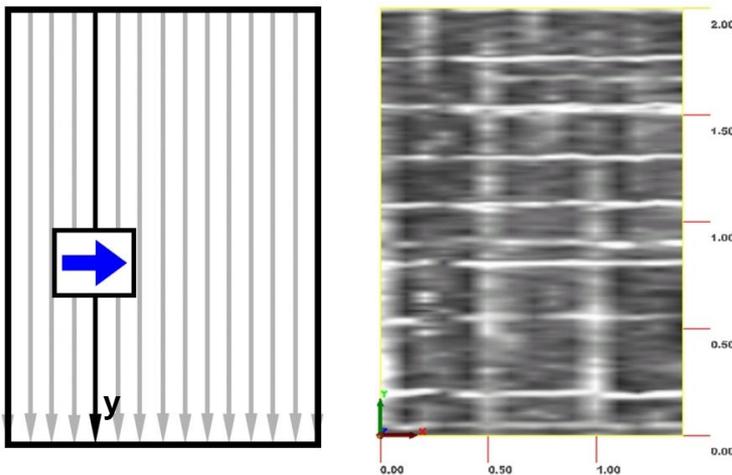


Abb. 6: wie Abb. 5 aber mit Messlinien in y-Richtung

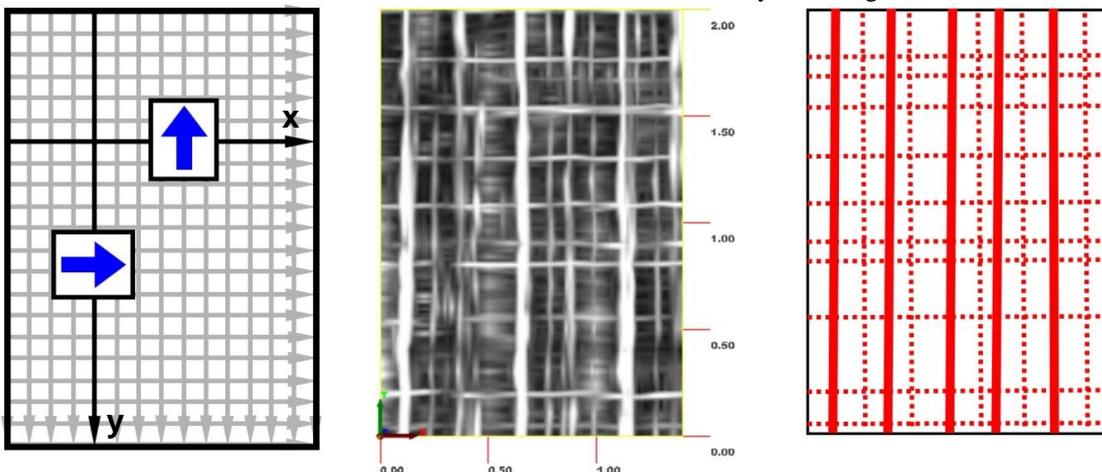


Abb. 7: Lage der Messlinien in x- und y-Richtung und Orientierung der Antennenpolarisation (links); überlagerter Tiefenschnitt (0 – 30 cm) der einzelnen Tiefenschnitte aus Abb. 5 und 6 (Mitte); rekonstruierte Lage der Bewehrung (rechts)

1.4 3D Messungen mit gedrehter Antennenpolarisation

Entsprechend der Vorgehensweise aus Abschnitt 1.2 aber mit um 90° gedrehter Polarisation (Abb. 8 u. 9) lassen sich Bewehrungen mit größerem Querschnitt, wie z. B. der vorgespannten Bewehrung, aber ohne schlaffe Bewehrung in 3D rekonstruieren (Abb. 10). Der Vergleich beider Tiefenschnitte (Abb. 7 und 10) ermöglicht es, bei den herkömmlich erstellten Tiefenschnitten aus Abb. 7 besser zwischen schlaffer und vorgespannter Bewehrung zu unterscheiden. Wird die Messung mit zwei Antennen und gedrehter Polarisation gleichzeitig aufgenommen, wie in Abb. 11 dargestellt, kann mit einem geringen Mehraufwand eine deutlich bessere Unterscheidung zwischen der schlaffen und der vorgespannten Bewehrung durchgeführt werden.

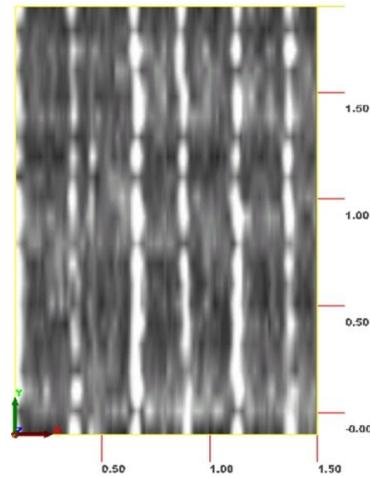
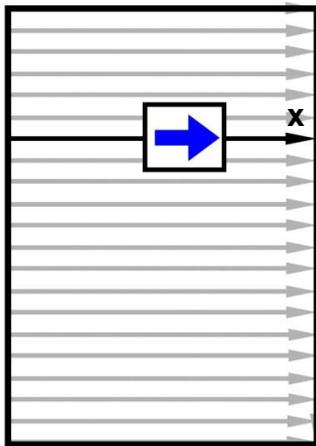


Abb. 8: Lage der Messlinien und Orientierung der um 90° gedrehten Antennenpolarisation (links), Tiefenschnitt (0 - 30 cm) der in x-Richtung orientierten Messlinien (rechts); nur die Bewehrung mit größerem Querschnitt, wie die Querspannglieder, die senkrecht von der Antenne überfahren werden, wird dargestellt.

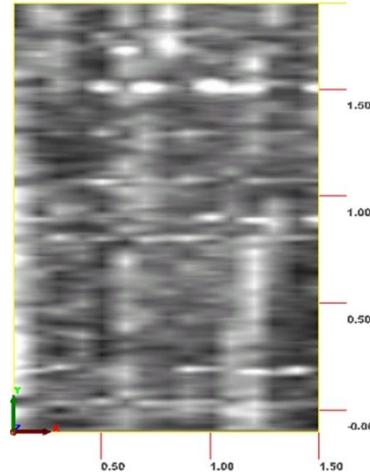
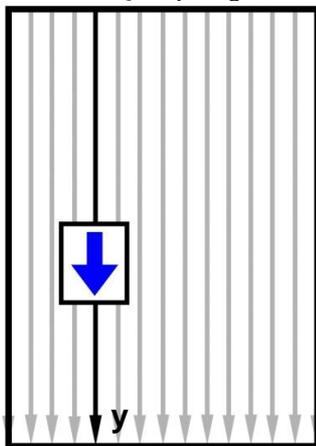


Abb. 9: wie Abb.8 aber mit Messlinien in y-Richtung

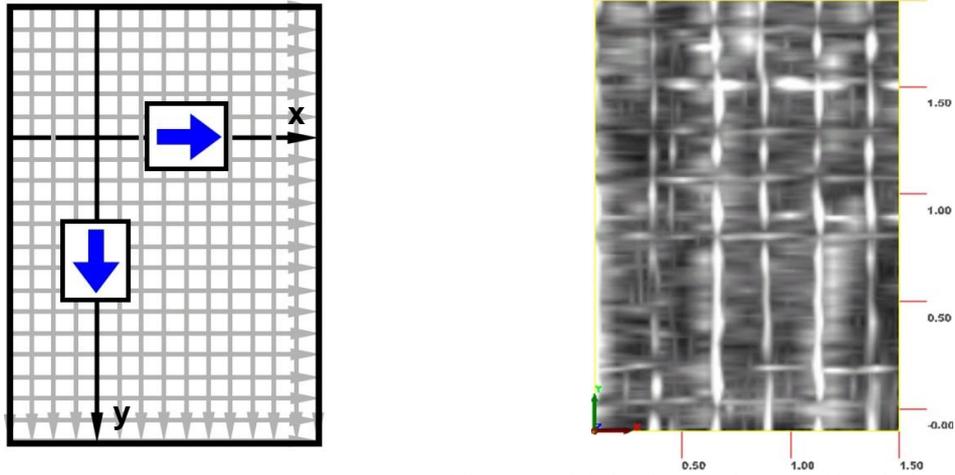


Abb. 10: Lage der Messlinien in x- und y-Richtung und Orientierung der um 90° gedrehten Antennenpolarisation (links); überlagerter Tiefenschnitt (0 – 30 cm) der einzelnen Tiefenschnitte aus Abb. 8 und 9 (rechts)

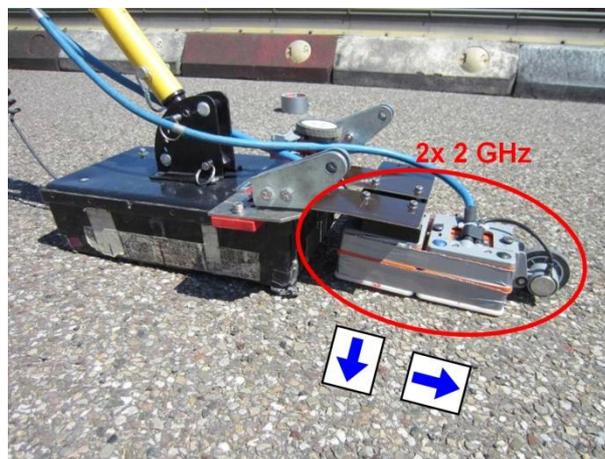


Abb. 11: Aufnahme einer Messlinie mit zwei Antennen und mit um 90° gedrehter Polarisation (blaue Pfeile) zur Verbesserung der Unterscheidung von schlaffer Bewehrung und Querspanngliedern

2. Praxisbeispiel

An einer Verbundbrücke mit einer in Querrichtung vorgespannten Fahrbahnplatte sollte im Vorfeld einer Instandsetzungsmaßnahme ein Konzept für die Ortung von Querspanngliedern erarbeitet werden. Die Ortung der Querspannglieder wird notwendig, um eine Verdübelung der geplanten Fahrbahn ohne Schäden an den Querspanngliedern durchzuführen. Für die Voruntersuchung sollten die Querspannglieder durch eine ca. 10 cm dicke Asphaltenschicht im Bereich der Standspur geortet werden. Es wurde in beiden Fahrrichtungen jeweils eine Messlinie mit beiden Polarisationen gleichzeitig aufgenommen (Abb. 12, links). Die Länge betrug etwa 320 m. An mehreren Stellen wurde auch Messfelder für die 3D Rekonstruktion ebenfalls mit zwei Polarisationen aufgenommen (Abb. 12, rechts).



Abb. 12: Aufnahme einer Messlinie in Fahrbahnrichtung (links); Aufnahme eines Messfeldes mit Hilfe einer Schablone (rechts)

In Abb. 13 sind die Ergebnisse der Messungen entlang einer Linie als ein 12 m Teilbereich einer insgesamt 320 m langen Linie dargestellt. Die Radargramme für die beiden um 90° gedrehten Polarisationen sind übereinander dargestellt, so dass ein direkter Vergleich möglich ist. In den Radargrammen lässt sich der Übergang Asphalt / Beton (grüner Pfeil) in einer Tiefe von ca. 10 cm und der Beginn der Bewehrungslage in einer Tiefe von ca. 20 cm ermitteln. Durch die Auswertung der gedrehten Polarisation (Abb. 13, unten) lassen sich die Querspannglieder eindeutig ermitteln, die in zwei Lagen mit zwei unterschiedlichen Tiefen (20 cm und 32 cm) verlaufen. Die obere Lage verläuft in gleicher Tiefe wie die schlaaffe Bewehrung, weshalb eine eindeutige Unterscheidung anhand des oberen Radargramms in Abb. 13 nicht möglich ist, sondern erst im Vergleich mit der um 90° gedrehten Polarisation in Abb. 13 unten.

In Abb. 14 sind dieselben Tiefenschnitte für ein Messfeld aber für zwei unterschiedliche Polarisationen dargestellt. Auch wie in den Radargrammen von Abb. 13 lassen sich in den Tiefenschnitten durch Vergleich beider Polarisationen die schlaaffe von der vorgespannten Bewehrung unterscheiden. Anhand der Serie einzelner Tiefenschnitte mit einer geringen Projektionstiefe von ca. 1 – 2 cm lässt sich auch der leicht geneigte Verlauf der beiden Querspanngliedlagen verfolgen.

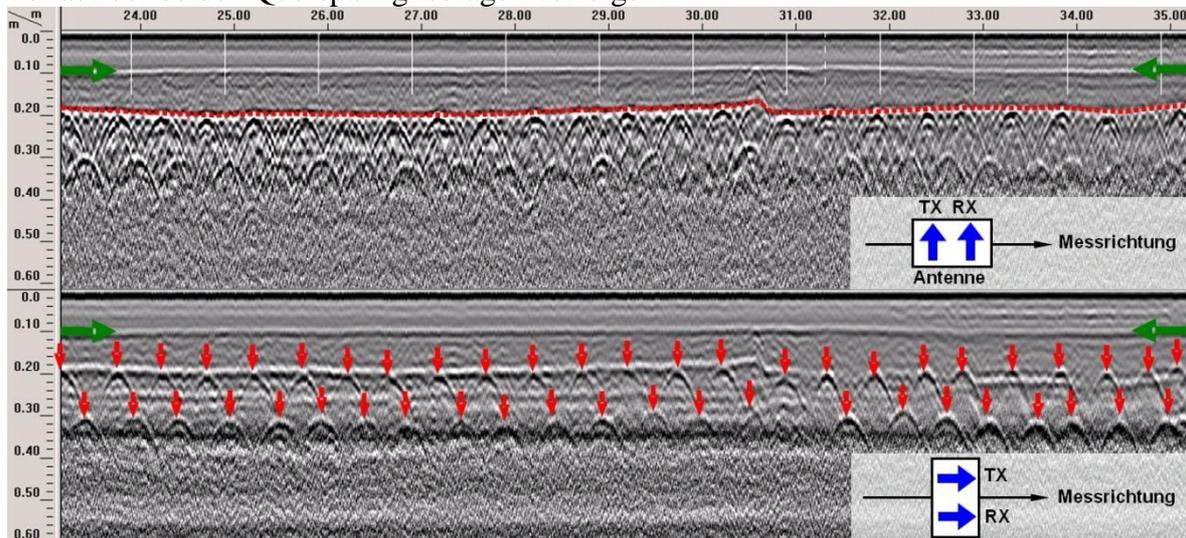


Abb. 13: Radarogramm der in Abb. 12 (links) aufgenommenen Messlinie; oben: herkömmliche Antennenpolarisation; unten: 90° gedrehte Polarisation; *grüner Pfeil*: Übergang Asphalt / Beton; *Linie, rot gestrichelt*: Lage schlaaffe Bewehrung; *rote Pfeile*: Lage Querspannglieder

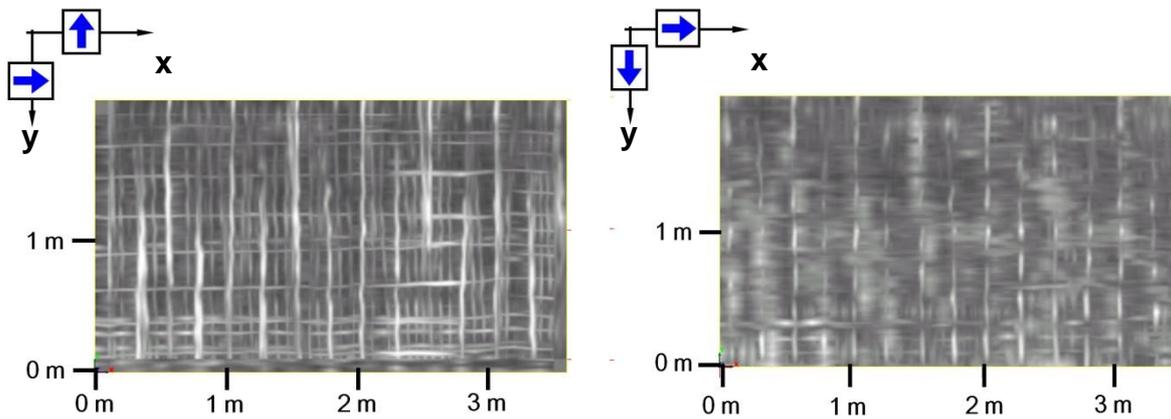


Abb. 14: Tiefenschnitte (0 – 30 cm) der Messung aus Abb. 12 rechts; herkömmliche Polarisation (links); 90° gedrehte Polarisation (rechts); gedrehte Polarisation zeigt nur Querspannglieder und hilft bei der Interpretation des Tiefenschnitts der herkömmlichen Polarisation (links) eindeutig zwischen schlaffer Bewehrung und Querspannglieder zu unterscheiden

3. Zusammenfassung und Ausblick

Die gezielte Verwendung zweier zueinander um 90° gedrehter Antennenpolarisationen verbessert die Unterscheidung von Bewehrungen mit unterschiedlichen Querschnitten, wie schlaffer und vorgespannter Bewehrung, deutlich. Der Mehraufwand für die Messung ist gering und Radarsysteme für die gleichzeitige Messung mit zwei Antennen sind kommerziell erhältlich. Eine Verbesserung der gemeinsamen Auswertung und Darstellung der Messergebnisse für beide Polarisationen ist ein wesentlicher notwendiger Schritt, um die Schwierigkeiten bei der Unterscheidung von Bewehrung und Spanngliedern mittels Radar zu überwinden und die Vorgehensweise zur Praxis zu machen.

Referenzen

- [1] Merkblatt über das Radarverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (B10), DGZfP Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung, Berlin (2008)
- [2] Kind, Th.; Feistkorn, S.; Trela, Ch. und Wöstmann, J., Impulsradar für schadensfreie Kernbohrungen an Spannbetonbrücken. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft 12, S. 876–881.

Danksagung

Der Dank der Autoren gilt dem Landesbetrieb für Straßenbau – Saarland für die Beauftragung und Unterstützung bei der Untersuchung des Praxisbeispiels.