

# Erfassung und Bewertung des Bauwerkszustandes als Grundlage für die Rückbauplanung

Christina Fritsch, M. Sc.<sup>1</sup>, Dr.-Ing. Gregor Schacht<sup>2</sup>, Johannes Diers, M. Sc.<sup>2</sup>,  
Dipl.-Ing. Torsten Harke, M. Sc.<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. Peter Betz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MKP GmbH, Weimar

<sup>2</sup> MKP GmbH, Hannover

<sup>3</sup> TU Dresden, Institut für Massivbau

## KURZFASSUNG

*Aufgrund rechnerischer Defizite werden aktuell in Deutschland zahlreiche Brückenbauwerke durch Neubauten ersetzt. Bevor der Neubau errichtet werden kann, muss das bestehende Brückenbauwerk rückgebaut werden. Häufig liegen im Zuge der Rückbauplanung jedoch keine aktuellen Bestands- und Zustandsinformationen vor, die Planung erfolgt entsprechend anhand von Bestandsplänen und Annahmen zum tatsächlichen Bauwerkszustand. Eine deutlich realitätsnähere, und damit im Allgemeinen sichere, Bewertung ist mithilfe von Bestandsuntersuchungen möglich.*

*Im Rahmen eines Forschungsprojektes sollen am Beispiel einer typischen Spannbetonbrücke der 1960er Jahre umfangreiche Bestandsuntersuchungen durchgeführt, wissenschaftlich ausgewertet und im Hinblick auf die Optimierung von Bestands- und insbesondere Rückbauplanungen bewertet werden. Dabei werden drei wesentliche Aspekte beleuchtet: die Erstellung von geeigneten Bestandsmodellen, die Ermittlung der Betoneigenschaften für die rechnerische Bewertung und die Beurteilung der nachträglichen Verankerung von Spannmitgliedern. Im Rahmen des Tagungsbeitrags sollen die durchgeführten Untersuchungen und vorliegenden Zwischenergebnisse präsentiert werden.*

## 1 Einleitung

Der Rückbau großer Talbrücken stellt eine ingenieurtechnische Herausforderung dar. Bei der Umsetzung sicherer und wirtschaftlicher Rückbaumaßnahmen bestehen dabei besondere Anforderungen an den Bauwerksbestand und -zustand. Insbesondere für Rückbauzustände, die von den Zuständen abweichen, für die das Bauwerk ursprünglich ausgelegt war, sind realitätsnahe Bauwerksinformationen entscheidend für den Erfolg der Nachweisführung. Diese Informationen können den vorliegenden Bestandsunterlagen in der Regel nur bedingt entnommen werden, da Abweichungen zwischen Planung und Ausführung keine Ausnahme darstellen und vorhandene Potenziale ungenutzt bleiben können.

Anders als für den Neubau können für Bestandstragwerke zahlreiche Kennwerte direkt am Bestand ermittelt werden und müssen nicht auf der sicheren Seite liegend abgeschätzt werden. Dadurch können zusätzlich zu berücksichtigende Sicherheitselemente reduziert und die tatsächlichen Eigenschaften sowie ihre Streuungen verwendet werden. Hierzu bieten moderne Verfahren der heutigen Bauwerksdiagnostik eine Vielzahl an Möglichkeiten, mit minimierten Eingriffen in den Bestand zuverlässige Ergebnisse zu erzielen [1], [2]. Diagnostische Untersuchungen können die Rückbauplanung dabei in den frühen Leistungsphasen absichern (bspw. Machbarkeit, Kosten- und Ausschreibungssicherheit). Darüber hinaus ergeben sich zusätzlich vielfältige Möglichkeiten, rechnerische Annahmen in der Ausführungsplanung direkt am Bestandsbauwerk mess-

technisch zu überprüfen (bspw. Verankerung von Spanngliedern).

In einem vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) geförderten Forschungsvorhaben sollen praktische Erfahrungen an einem rückzubauenden Brückenbauwerk gesammelt werden, um für zukünftige Projekte den erforderlichen Umfang sowie die Art der Untersuchungen zu definieren, die als Grundlage für Planungen im Bestand dienen können. Der Fokus liegt dabei auf Untersuchungen zur Absicherung rechnerischer Annahmen, wie die tatsächlich vorhandene Betondruckfestigkeit, dem Zustand der Spannglieder und den Möglichkeiten, mithilfe moderner geodätischer Verfahren die Bestandsgeometrie genauer zu ermitteln.

Das Forschungsprojekt wird voraussichtlich Ende 2023 abgeschlossen. Der vorliegende Tagungsbeitrag gibt einen Überblick über die bereits vorliegenden Ergebnisse und einen Ausblick auf noch ausstehende Arbeitsschritte.

## 2 Bauwerksvorstellung

Die im Projekt untersuchte Talbrücke wurde in den 1960er Jahren mit einem Vorschubgerüst hergestellt und ist charakteristisch für eine Vielzahl vergleichbarer Autobahnbrücken in Süddeutschland. Die Brücke besteht aus zwei Teilbauwerken. Je Fahrtrichtung überführt in 16 Feldern ein zweizelliger Hohlkasten das Tal. Die Fahrbahn- und Bodenplatte sind zu den Stegen hin gevoutet ausgeführt. Die Vorspannung erfolgte mit dem Spannverfahren Polensky & Zöllner. Insgesamt besitzt das Bauwerk eine Länge von über 500 m, eine Höhe von bis zu 48 m und ist im Grundriss gekrümmt.

Nachdem Ende der 1990er Jahre im Zuge der Bauwerksprüfung Schäden dokumentiert wurden, die zu einer Zustandsnote 4 führten, erfolgten umfangreiche Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen, darunter der Einbau einer externen Vorspannung, die Verstärkung der Pfeilerköpfe und Querträger sowie bereichsweise Betoninstandsetzungsmaßnah-

men. Seitdem wurden vergleichsweise wenige, lokale Bauwerksschäden dokumentiert. Dennoch erfolgte mit der Nachrechnung 2014 die Maßnahmeempfehlung Ersatzneubau.

In Anlehnung an die Herstellung wurde der Rückbau abschnittsweise auf Vorschubgerüst geplant. Üblicherweise erfolgt der Rückbau dabei entgegen der Herstellrichtung. Erforderliche Trennschnitte können so vor den Koppelstellen angelegt werden, an denen alle Spannglieder planmäßig verankert sind. Der nördliche Überbau wurde bereits auf diese Weise zurückgebaut. Für den südlichen Überbau wurde zur Optimierung des Bauablaufes und der Bauzeit alternativ der Rückbau in Herstellrichtung geplant. Die Besonderheit dabei ist, dass Trennschnitte nicht an den Koppelstellen, sondern auf der mit Blick auf die Auflagerachse gegenüberliegenden Seite erfolgen (siehe Bild 1). Daraus resultieren besondere Anforderungen an den Bauwerkszustand, da sich Spannglieder über den Verbund verankern müssen und der Beton die auftretenden Spaltzugkräfte aufnehmen muss.

Für den abschnittswisen Rückbau großer Talbrücken in Herstellrichtung liegen bisher kaum Erfahrungen vor. Das Forschungsprojekt bietet die Chance, in vergleichsweise großem Umfang und insbesondere auch baubegleitend Bestands- und Zustandsinformationen zu sam-

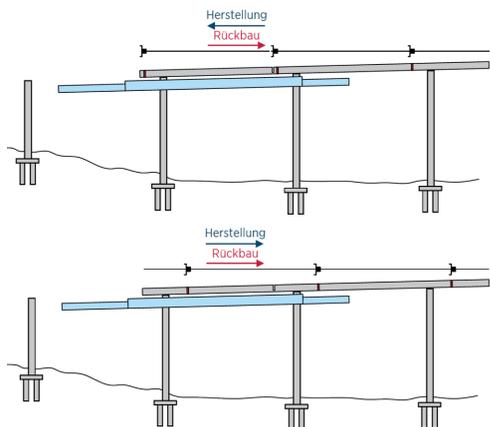


Bild 1: Schematische Darstellung Rückbau entgegen der Herstellrichtung (oben) und Rückbau in Herstellrichtung (unten)

meln, die bei künftigen Rückbauten herangezogen werden können.

### 3 Durchführung eines Wettbewerbs zur geometrischen Bestandserfassung

Wie einleitend beschrieben, bilden verlässliche Bestandsdaten eine essenzielle Grundlage für die Planung und Durchführung von komplexen Rückbaumaßnahmen. Neben Aussagen zu tatsächlichen Materialeigenschaften spielt dabei insbesondere die Bestandsgeometrie eine Rolle, bspw. im Hinblick auf Kollisionsprüfungen mit zu errichtenden Neubauten, die Ermittlung des Eigengewichts, die Mengen- und Kostenermittlung oder auch die Bestandsdokumentation. Da die vorhandenen Bestandsunterlagen oftmals unvollständig oder widersprüchlich zum tatsächlichen Bestand sind, können sie nur begrenzt herangezogen werden. Basierend auf dem Wunsch einer Risikominimierung und einer Optimierung der Bewertungsgrundlagen für Infrastrukturbauwerke wurde die Notwendigkeit eines georeferenzierten, objektorientierten Geometriemodells mit einer hohen Auflösung und Genauigkeit erkannt. Neben den Anwendungsfällen des Rückbaus kann ein solches digitales Bauwerksmodell auch eine Grundlage für ein zukunftsorientiertes Erhaltungsmanagement bilden [3].

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein Modellwettbewerb durchgeführt, in welchem unterschiedliche Aufnahmetechnologien zur geometrischen Bestandserfassung vergleichend gegenübergestellt wurden. Ziel des Modellwettbewerbs war die Identifikation der Chancen und Schwierigkeiten der einzelnen Aufnahmetechnologien in Bezug auf unterschiedliche Anwendungsfälle, die Gegenüberstellung der mit ihnen verbundenen Aufwendungen vor und nach der Aufnahme sowie die Bewertung der erwartbaren Genauigkeiten bei der Modellerstellung. Die Bestandserfassung erfolgte dabei exemplarisch an einem Brückenteilstück mit, für die Vermessungsleistungen, vergleichsweise komplexer Struktur. Neben einer Bauwerksachse als Klothoidenteilstück bestand die Herausforderung, die Außenaufnah-

men mit den Aufnahmen aus dem zweizelligen Hohlkasteninneren lagerichtig zu verbinden. Zur Anwendung kamen photogrammetrische UAV-Aufnahmen (engl. *unmanned aerial vehicle*), terrestrisches Laserscanning (TLS) mit und ohne tachymetrische Einmessung sowie eine Kombination aus einem einfachen Lidarscanner mit Videoaufnahmen (im weiteren als „Videogrammetrie“ bezeichnet).

Neben einem Modellvergleich untereinander wurden für den Anwendungsfall Rückbau verschiedene Parameter an den entstandenen Modellen überprüft, darunter einerseits die Achslage der Brücke als relevanten Parameter der Lagegenauigkeit und Voraussetzung für eine Kollisionsprüfung, bspw. beim Taktchieben einer neuen Brücke. Andererseits wurde die Geometrie- bzw. Modelliergenauigkeit überprüft als Grundvoraussetzung für die Ermittlung des Eigengewichts zur Reduzierung von Teilsicherheitsbeiwerten im Zuge der Rückbauplanung und somit zur Auswahl sowie Optimierung des Rückbauverfahrens. [4]

In den Bildern 2 und 3 wurden die Geometriemodelle aus Bestandsunterlagen (blau), TLS mit tachymetrischer Einmessung (grau) und videogrammetrischer Erfassung (rot) überlagert dargestellt.

Bereits visuell wird deutlich, dass teils signifikante Abweichungen in der Achs- und Höhen-

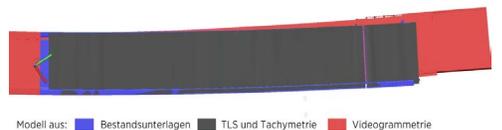


Bild 2: Überlagerung der 3D-Geometriemodelle in der Draufsicht



Bild 3: Überlagerung der 3D-Geometriemodelle in der Ansicht

lage bestehen. Mittels TLS konnten eine Achsabweichung im Klothoidenbereich von 5–10 cm und eine Geometrieabweichung von 1–2 cm gegenüber den bauzeitlichen Bestandsunterlagen festgestellt werden. Das Videogrammetriemodell, welches die größten Lageabweichungen aufweist, wurde mit Abstand am schnellsten erzeugt (vor Ort und in der Nachbereitung) und weist den höchsten Detaillierungsgrad auf (Bauwerksausstattung und Umgebung). Während es für den Anwendungsfall einer Kollisionsprüfung im Zuge der Planung aufgrund der Lageungenaugigkeit eher schlecht abschneidet, kann es für die Visualisierung von Szenarien oder die qualitative Bestandsdokumentation durchaus die wirtschaftlichste Aufnahmetechnologie darstellen. Bereits der Vergleich dieser ausgewählten Aspekte zeigt, dass es kein ideales Aufnahmeverfahren gibt, sondern je nach Anwendungsfall und Randbedingungen alle Verfahren ihre Vor- und Nachteile besitzen.

Die Grundlagen für die Auswahl geeigneter Aufnahmeverfahren werden entsprechend durch die Anforderungen und den Verwendungszweck bestimmt. Für den im Projekt zugrundeliegenden Anwendungsfall Rückbau sind höhere Genauigkeiten erforderlich, welche durch TLS auf der Bauwerksunterseite und im Inneren in Kombination mit UAV-Photogrammetrie auf der Fahrbahnoberseite sehr gut erfüllt werden. Zu den Festlegungen der Anforderungen an die Bestandsaufnahme sind zudem auch Modellierungsgrundlagen für das zu erstellende Modell zu definieren. Für Visualisierungen kann es ausreichen, dass die Brücke als ein Objekt erstellt wird. Für weitere BIM-konforme Planungen und Bearbeitungen kann eine Untergliederung bis hin zu einzelnen Bauteilen erforderlich sein, welche eine gewisse Affinität des Modellerstellers bezüglich Infrastrukturbawerken erfordert [5].

## 4 Ermittlung der Betoneigenschaften im Bestand

### 4.1 Grundlagen der Untersuchungen

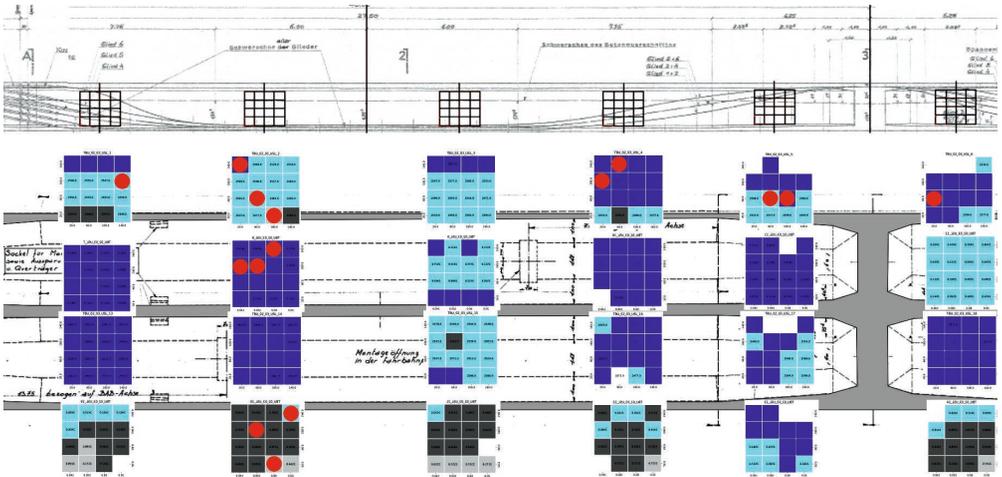
Die Betondruckfestigkeit bestehender Bauwerke ist in der Regel höher als die in den Be-

standsunterlagen angegebene, bauzeitliche Bemessungsfestigkeit. Entsprechend besitzt die Ermittlung der tatsächlichen Betoneigenschaften im Bestand eine besondere Relevanz. Sie kann bei rechnerischen Untersuchungen herangezogen werden und bildet eine wesentliche Grundlage für die Planung jeglicher Erhaltungsmaßnahmen. Die Ermittlung der Betondruckfestigkeit von Bauwerksbeton erfolgt nach DIN EN 13791 [6], die Angaben zu Art und Anzahl der erforderlichen Untersuchungen enthält. Wesentliche Voraussetzung für die Festlegung des Untersuchungsumfangs ist dabei die Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Betoneigenschaften bzw. die Identifikation möglicher Grundgesamtheiten.

Die DIN EN 13791 bietet die Möglichkeit, bei der Ermittlung der Druckfestigkeit von Bauwerksbetonen auch Messergebnisse aus zerstörungsfreier bzw. indirekter Prüfung heranzuziehen. Als Prüfverfahren sind dabei der Rückprallhammer sowie die Ultraschalllaufzeitmessung anwendbar. Ziel des Forschungsvorhabens war einerseits die Untersuchung dieses Ansatzes zur Berücksichtigung indirekter Prüfungen zur Abschätzung der charakteristischen Betondruckfestigkeit in Verbindung mit Bohrkernprüfungen nach DIN EN 13791. Andererseits sollte die Hypothese überprüft werden, dass mithilfe von zerstörungsfreien Messungen Rückschlüsse auf die Streuung der Betondruckfestigkeit möglich sind und sie daher zur Identifikation verschiedener Grundgesamtheiten bzw. als Grundlage für die Festlegung konkreter Probeentnahmestellen herangezogen werden können.

### 4.2 Untersuchungskonzept

Im Rahmen des Forschungsprojekts bestand die Möglichkeit, sowohl zerstörungsfreie als auch zerstörungsarme Untersuchungen in vergleichsweise großem Umfang durchzuführen. Das entwickelte Untersuchungskonzept berücksichtigte Überlegungen zu potenziellen Grund- und Teilgesamtheiten, die mitunter über vergleichbare Betoneigenschaften verfügen, bezog sich jedoch nur auf den Überbau. Die Unterteilung des Bauwerks erfolgte dabei herstellungsbedingt



**Bild 4:** Exemplarische Darstellung der Bohrkernentnahmestellen (rote Punkte) in den Messfeldern der zerstörungsfreien Prüfungen (hier dargestellt als Heatmaps der Ultraschallgeschwindigkeiten)

(u. a. Betonierabschnitte) oder in Bezug auf die Belastungshistorie (bspw. Vergleich Mittel- und Außensteg oder Druck- und Zugzone).

Auf Basis der Bauwerkseinteilung wurden fünf der 16 Brückenfelder ausgesucht, die verstärkt zerstörungsfrei und zerstörungsfrei beprobt werden sollten. Innerhalb dieser stark beprobten Felder wurden in einem ersten Schritt teilflächige zerstörungsfreie Messungen durchgeführt. Je Brückenfeld wurden dabei 24 Messfelder mit einer Größe von 1,60 m × 1,60 m angelegt, siehe Bild 4. In jedem dieser Messfelder wurden wiederum 16 Messstellen untersucht. Insgesamt ergeben sich damit 1.920 systematisch über das Bauwerk verteilte Messstellen, für die die Ultraschallgeschwindigkeiten bzw. die Rückprallwerte ermittelt werden sollten. Anschließend wurden jeweils 15 Bohrkern, verteilt in Längs- und Querrichtung, je Brückenfeld für Druckfestigkeitsprüfungen entnommen.

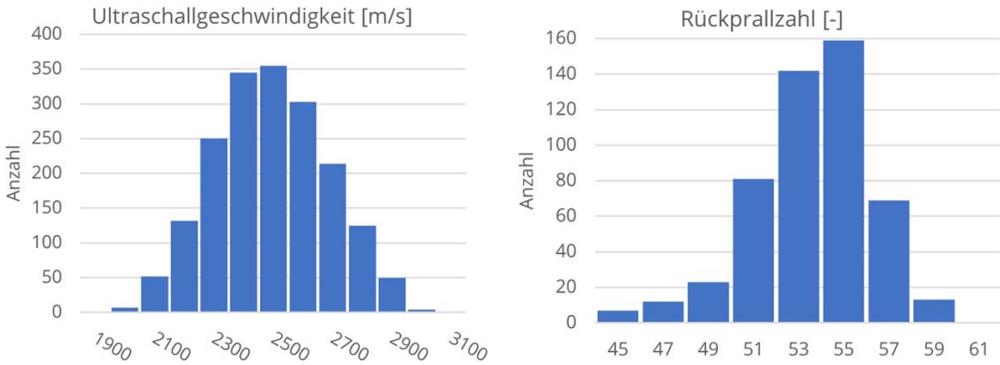
Die verbleibenden elf Felder wurden in geringem Maße beprobt (Ermittlung der Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit an jeweils drei Bohrkernen). Insgesamt wurden damit am Überbau des Bauwerks 186 Messbereiche angelegt und 141 Bohrkern entnommen.

### 4.3 Zerstörungsfreie Bestandserfassung

Planmäßig sollten in den fünf stark beprobten Feldern sowohl teilflächige Rückprallhammer- als auch Ultraschalllaufzeitmessungen durchgeführt werden. Wegen eines technischen Defekts, welcher aus der hohen Schlaganzahl und dem damit verbundenen mechanischen Abrieb im Gerät resultierte, konnten die Rückprallhammermessungen jedoch nur in einem der fünf Brückenfelder durchgeführt werden. Die nachfolgende Ergebnisdokumentation bezieht sich daher in erster Linie auf die Ultraschalllaufzeitmessung.

Als Grundlage für die Beurteilung der vergleichsweise großen Datenmenge erfolgte die Aufbereitung, nach initialer Überprüfung der Daten, vorwiegend in grafischer sowie grafisch-statistischer Form (bspw. Heatmaps, Histogramme, Boxplots). Für die Ultraschallmessungen ist dabei zu beachten, dass erst durch Berücksichtigung der jeweiligen Bauteilstärke und Umrechnung in eine Ultraschallgeschwindigkeit eine Vergleichbarkeit der Daten möglich ist.

Für die Ermittlung der Ultraschallgeschwindigkeit wurden in einem ersten Schritt die Bauteilstärken anhand der bauzeitlichen Unterlagen ermittelt. Die ermittelten Ultraschall-



**Bild 5:** Verteilung der Ultraschallgeschwindigkeiten; Intervalle von 100 m/s (links) und Rückprallwerte (rechts; 2er-Intervalle) aus den teilflächigen Messungen

geschwindigkeiten schwanken in einem Bereich von 2.000 m/s bis 3.000 m/s und sind dabei näherungsweise normalverteilt (siehe Bild 5). Es wurden wenige lokale Ausreißer identifiziert, die jedoch nicht auf eine potenziell abweichende Grundgesamtheit schließen lassen. Insgesamt deuten die Messdaten an, dass die am Mittelsteg erfassten Ultraschallgeschwindigkeiten tendenziell höher sind als die an den Außenstegen (Differenz von ca. 200 m/s bezogen auf die Mittelwerte), was auf ein homogeneres Betongefüge und potenziell höhere Betondruckfestigkeiten hinweisen kann. Dieses Ergebnis entspricht nicht dem Erwartungswert und lässt sich konstruktiv oder aus der Belastungshistorie nicht direkt herleiten. Eine mögliche Erklärung sind Abweichungen zwischen der tatsächlichen Geometrie und den Angaben der bauzeitlichen Unterlagen. In die Ermittlung der Ultraschallgeschwindigkeit aus der Ultraschalllaufzeit geht die zweifache Bauteilstärke ein. Selbst geringe Maßabweichungen führen damit zu vergleichsweise großen Differenzen. Im weiteren Verlauf des Rückbaus erfolgen zusätzliche, stichprobenartige Untersuchungen zur Bauteilstärke, die zur Aufklärung der Messergebnisse beitragen sollen.

Auf Grundlage der teilflächigen zerstörungsfreien Messungen erfolgte nach Auswertung die Festlegung der konkreten Bohrkernentnahmestellen. Dabei wurden entsprechend DIN EN 13791 alle Bereiche der Verteilung einschließlich der Extremwerte berücksichtigt. An den

Bohrkernentnahmestellen wurden für die spätere Abschätzung der Druckfestigkeit anhand von indirekten Prüfungen erneut Ultraschallgeschwindigkeit und Rückprallwert ermittelt.

#### 4.4 Zerstörungssarme Ermittlung der Betondruckfestigkeit

Insgesamt werden in dem Projekt 108 Druck- und 33 Spaltzugfestigkeitswerte ermittelt, wobei zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags bereits 48 Druck- und 18 Spaltzugprüfungen der Felder 1–8 durchgeführt worden sind. Die dabei ermittelten Druckfestigkeiten lagen im Mittel bei ca. 66 N/mm<sup>2</sup> (siehe Tabelle 1) und damit deutlich über der Annahme eines B450 entsprechend der Bestandsunterlagen, dessen Druckfestigkeit der eines C30/37 gleichgesetzt werden kann [7]. Der Vergleich verschiedener möglicher Grund- und Teilgesamtheiten, die für die vorliegenden Ergebnisse getestet wurden, deutet auf ein einheitliches Materialverhalten des gesamten Bauwerks hin. Auch die Streuungen lagen durchgehend unterhalb eines Variationskoeffizienten  $v = 0,15$ , welcher dem Teilsicherheitsbeiwert des Betons gemäß EC2 [8] zugrunde liegt. Insgesamt zeigen diese Erkenntnisse bereits das Potenzial an Tragreserven in Bestandsbauwerken bei Ermittlung bzw. Messung der tatsächlichen Materialeigenschaften.

Zur Korrelation zwischen zerstörungssarmen und zerstörungsfreien Untersuchungen können aktuell noch keine Aussagen getroffen werden.

	Gesamt	Außensteg Nord	Mittelsteg	Feld 3	Feld 6
Probenanzahl n	48	30	12	15	15
Mittelwert der Betondruckfestigkeit $f_{cm, is}$ [MPa]	66,67	66,69	66,08	66,27	69,27
Standardabweichung s [MPa]	5,86	6,30	4,12	6,12	5,37
Variationskoeffizient v [-]	0,09	0,09	0,06	0,09	0,08
Charakteristische Betondruckfestigkeit $f_{ck, is}$ [MPa]	57,16	55,78	54,90	54,73	59,18

Tabelle 1: Vergleich möglicher Gesamtheiten und Teilgesamtheiten der zerstörungsarm ermittelten Betondruckfestigkeit

Eine erste Gegenüberstellung der Verteilungen lässt noch keine Rückschlüsse auf Zusammenhänge zwischen zerstörungsarmen und zerstörungsfreien Untersuchungen zu. Während bei den Rückprallzahlen keine und bei den Ultraschallgeschwindigkeiten deutlich eine Normalverteilung erkennbar ist (siehe Bild 5), zeigen die Betondruckfestigkeiten bei den Bohrkernen eine logarithmisch normalverteilte Tendenz (siehe Bild 6). Eine abschließende Aussage ist nach Vorliegen der ausstehenden Prüfergebnisse der verbleibenden acht Felder möglich.

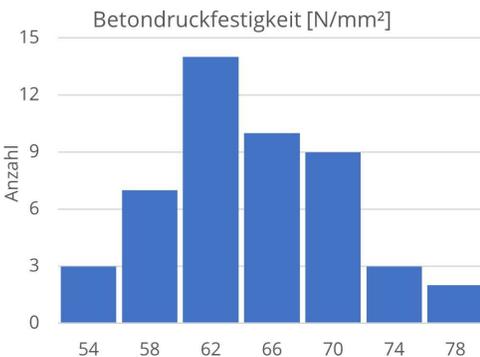


Bild 6: Verteilung der ermittelten Betondruckfestigkeiten (Intervalle von 4 N/mm²)

## 5 Nachträgliche Verankerung von Spanngliedern

### 5.1 Untersuchungsgrundlagen und -anlass

Beim Rückbau in Herstellrichtung erfolgt die Trennung der Spannglieder nicht in der Nähe der Anker bzw. Koppelanker. Für die weitere statische Nutzung der durchtrennten Spannglieder ist eine geeignete Neuverankerung ab

der Trennstelle erforderlich. Diese kann bei mit Mörtel verpressten Spanngliedern über den Verbund erfolgen. Diese Art der Verankerung stellt jedoch einen unplanmäßigen lokalen Belastungszustand für das betreffende Bauteil dar. Im Gegensatz zu einem verbauten Anker wird die Spanngliedkraft entlang der Verbundlänge und damit weniger konzentriert in den Beton eingetragen. Für eine erfolgreiche Neuverankerung über Verbund müssen bestimmte Randbedingungen vorliegen:

- Das Spannglied ist ausreichend gut verpresst, damit die freiwerdende Kraft über den Verpressmörtel in den Konstruktionsbeton übertragen werden kann.
- Der Beton im Verankerungsbereich weist ein gutes Gefüge auf und ist im Stande, die entstehenden Spaltzugkräfte aufzunehmen.

Im Forschungsprojekt wurde die Neuverankerung der Bestandsspannglieder erforderlich, da die Abbruchrichtung des Überbaus dessen Herstellrichtung entspricht, wodurch die Enden der Abbruchabschnitte des Überbaus nicht mit dessen Koppelfugen übereinstimmen (Verankerung abseits der Koppelanker). Daher wurde eine mögliche Verbundverankerung rechnerisch untersucht. Als Eingangsgrößen wurden dabei zum Teil Informationen zum Verbundverhalten des Spannsystems aus der Literatur [9] verwendet. Der Nachweis gegenüber Spaltrissen im Verankerungsbereich erfolgte über die Betonzugfestigkeit.

Wegen der verbleibenden Unsicherheiten im Nachweis wurde entschieden, die Spannglieder in jedem Rückbauabschnitt vor der Trennung



**Bild 7:** Schnittfläche eines mittels Kernbohrung durchtrennten Spannglieds mit minimalen Einzügen der Spanndrähte (< 1 mm)

des Überbaus sukzessive mit Kernbohrungen zu durchtrennen (s. a. Bild 8). So konnte die Neuverankerung jedes durchtrennten Spannglieds über Verbund an der Schnittfläche der Bohrung begutachtet werden (Bild 7). Eine Verankerung wurde bei < 3 mm Einzug des Spannglieds gegenüber dem Beton als erfolgreich bewertet. Dieser Grenzwert ergab sich aus einer rechnerischen Sensibilitätsbetrachtung bei variierenden Randbedingungen. Bislang wurde während des Rückbaus bei allen ca. 100 Trennbohrungen ein Einzug  $\leq 1$  mm dokumentiert.

Im Sinne der Erfahrungssammlung und als Grundlage für eine Weiterentwicklung bzw. Optimierung der Rückbauvariante wurden einerseits zerstörungsfreie Ultraschallmessungen zur Beurteilung des Verpress- und Betonzustandes vor Rückbaubeginn durchgeführt, um etwaige Hinweise auf eingeschränkte Verbundeigenschaften zu sammeln. Andererseits sind baubegleitende Messungen zur Dokumentation des Betongefüges erfolgt.

### 5.2 Zerstörungsfreie Ultraschallmessungen vor und während des Rückbaus

Die Ultraschallprüfung ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren im Bauwesen zur Detektion von Bereichen unterschiedlicher Dichte im Betongefüge. An Luftschichten erfolgt eine vollständige

Reflektion des Ultraschallsignals (Totalreflektion), weswegen es geeignet sein kann, um bspw. Bauteilstärken zu ermitteln oder auch Luftschichten in Bauteilen zu identifizieren [10]. Zur Überprüfung der notwendigen Bedingungen für die nachträgliche Verankerung wurden im Vorfeld des Rückbaus Ultraschallmessungen an den Stellen der Trennschnitte durchgeführt und hinsichtlich möglicher Gefügeschäden des Konstruktionsbetons und des Verpresszustands der Spannglieder ausgewertet. Dabei wurden keine Hinweise auf statisch relevante Verpressfehler oder Gefügeschäden festgestellt. Im Zuge des Rückbaus und Abbohrens der Spannglieder wurden diese Ergebnisse nicht widerlegt, sowohl Verpresszustand als auch Betongefüge wiesen in den untersuchten Bereichen keine Fehler bzw. Schäden auf. Bei entsprechenden Hinweisen aus den Messungen hätten zur Absicherung der Rückbauzustände frühzeitig Maßnahmen eingeplant werden können.

Darüber hinaus wurden im Zuge des Durchtrennens der Spannglieder rückbaubegleitende Vorher-Nachher-Messungen zur Detektion von Spaltzugrissen im Bereich zwischen den Spanngliedern durchgeführt. Die Messungen erfolgten jeweils auf den gleichen im Vorfeld angezeichneten Messspuren (Bild 8). Im Regelfall waren keine signifikanten Unterschiede zwischen Vorher- und Nachher-Messung erkenn-



**Bild 8:** Durchführung der Ultraschallmessungen nach dem Durchtrennen der Spannglieder

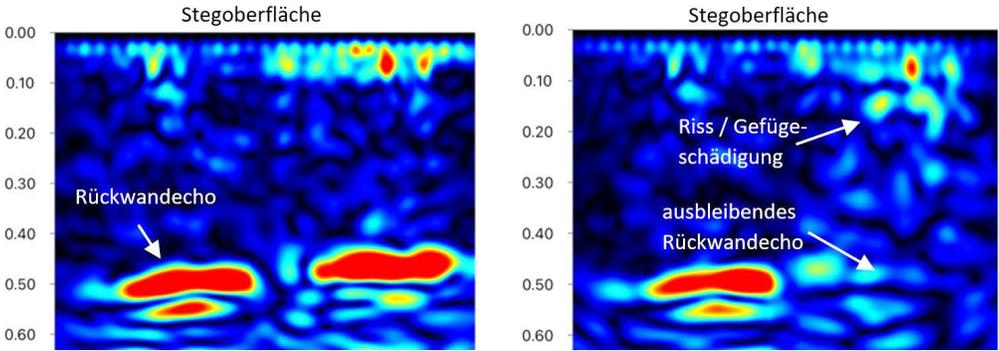


Bild 9: Vorher-Messung (links) und Nachher-Messung (rechts) im Falle einer Spaltzugrissbildung

bar, lediglich bei drei von 54 Messungen wurden Hinweise auf eine einsetzende Spaltzugrissbildung festgestellt. Im Ultraschallbild werden Spaltzugrisse durch eine erhöhte Reflektion im mittleren Bauteilbereich sowie ein Ausbleiben des Rückwandechos deutlich (Bild 9). Insgesamt bestätigte sich das Ultraschallverfahren, neben dem Schlupfkriterium, als geeignet für die Beurteilung der Verankerungsfähigkeit im Vorfeld des Rückbaus sowie die baubegleitende Überprüfung von Gefügeveränderungen und stellt somit ein wichtiges Hilfsmittel auch für zukünftige Rückbauten dar.

### 5.3 Laboruntersuchungen zum Verbundverhalten

Die Berechnung der erforderlichen Rückverankerungslänge bzw. des zulässigen Schlupfs für den Rückbau der untersuchten Talbrücke basierte auf Angaben zum Verbundverhalten

ähnlicher Spannglieder aus der Literatur, denen unter Idealbedingungen hergestellte Prüfkörper zugrunde lagen. Interessant für die Validierung der Annahmen ist jedoch das tatsächliche Verbundverhalten der im Bauwerk verwendeten Spannähle, weshalb im Zuge des Rückbaus Verbundprüfkörper aus dem Bauwerk gewonnen werden sollen. Aufgrund der geometrischen Randbedingungen, insbesondere dem Abstand der einzelnen Spannglieder zueinander, bietet sich vor allem der in der Literatur etablierte Auszugkörper für die Verbundversuche an [9]. Dazu soll ein vier Meter langer Stegabschnitt aus der Brücke herausgetrennt werden, aus dem im Labor Prüfkörper mit mittig liegenden Spanngliedern entnommen werden können (siehe Bild 10). Wichtig ist ein möglichst gerader Verlauf der Spannglieder, weshalb deren Lage vorab per Ultraschall bestimmt und angezeichnet wird. Die Anzahl der Prüfkörper ergibt sich aus diesen Voruntersuchungen. Die Versuche befinden sich derzeit in der Planung.

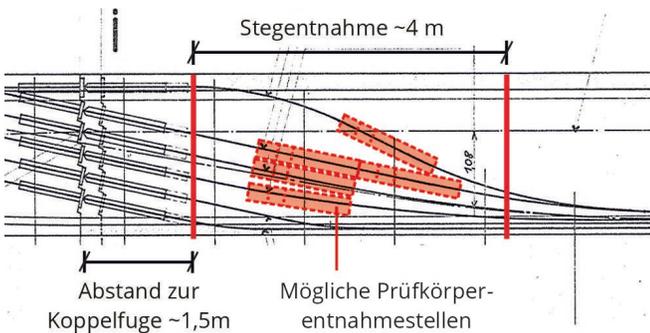


Bild 10: Schema möglicher Entnahmestellen für die Verbunduntersuchungen

## 6 Fazit und Ausblick

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die thematischen Schwerpunkte des Forschungsprojektes zur Bestandserkundung für den Rückbau von Talbrücken. Bereits vor Projektabschluss lässt sich sagen, dass vielzählige Möglichkeiten der mess-

technischen Bestandserfassung existieren, die zur Minimierung der Risiken bei der Planung, Ausschreibung und Ausführung von Rückbaumaßnahmen beitragen – von der umfassenden geometrischen Bestandsmodellierung bis hin zur zerstörungsfreien Beurteilung des Betongefüges. Mit überschaubarem Aufwand konnten sehr umfangreich Informationen zum Bestand und dem Zustand des Bauwerks gesammelt werden. Diese haben jedoch nicht erst zum Rückbau eine Relevanz, sondern insbesondere während des Betriebs. So hätte rückblickend mithilfe von Bauwerksuntersuchungen bspw. eine deutlich höhere rechnerische Betondruckfestigkeit für die Nachrechnung angesetzt werden können.

Im Rahmen des Forschungsprojekts sind darüber hinaus noch weitere Untersuchungen geplant, die nicht detailliert beschrieben werden konnten. Weiterführende Analysen der Betoneigenschaften befassen sich mit der vergleichenden Ermittlung des E-Moduls sowie dem Kriechen des Altbetons, welches einen großen Einfluss auf die noch vorhandene Vorspannung des Bestandsbauwerks hat, bisher jedoch kaum beachtet wurde. Zu diesem Zweck wurden ab dem Zeitpunkt der Verkehrsumlegung Betondehnungsmessungen durchgeführt. Außerdem im Fokus stehen die weitere Erkundung des Spanngliedzustandes inklusive Ermittlung der vorhandenen Vorspannung sowie Entnahme eines ganzen Stegabschnittes, aus dem, wie zuvor beschrieben, Auszugkörper zur Beurteilung der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung gewonnen werden sollen.

Diese Untersuchungen leisten einen wichtigen Beitrag für eine optimierte Rückbauplanung vergleichbarer Spannbetonbrücken bzw. im Hinblick auf einen ressourcenschonenden Umgang mit der Bausubstanz – und im besten Fall für deren Erhalt.

## Danksagung

Besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) sowie der Autobahn GmbH des Bundes, Niederlassung Nordbayern für die Unterstützung des Projektes.

## Literatur

- [1] Schacht, G.; Barr, C.; Diers, J.; Fritsch, C.; Marx, S.: Der Bauwerkszustand als Herausforderung für die Rückbauplanung – Methoden und Empfehlungen für erforderliche Untersuchungen. *Beton und Stahlbetonbau* 118 (2023), Sonderheft Rückbau von Betonbrücken S1, Februar 2023, S. 3–13 – DOI: 10.1002/best.202200099
- [2] Schacht, G.; Müller, L.; Kromminga, S.; Krontal, L.; Marx, S.: Tragwerksplanung beim Rückbau von Spannbetonbrücken. *Bautechnik* 95 (2018) 1, S. 6–15 – DOI: 10.1002/bate.201700093
- [3] Singer, D.; Borrmann, A.: Machbarkeitsstudie BIM für Bestandsbrücken. Bundesanstalt für Straßenwesen, Schlussbericht Forschungsvorhaben FE 89.0309, 2016.
- [4] Löschmann, J.; Ahrens, M. A.; Dankmeyer, U.; Ziem, E.; Mark, P.: Methoden zur Reduktion des Teilsicherheitsbeiwerts für Eigenlasten bei Bestandsbrücken. *Beton- und Stahlbetonbau* 112 (2017) 8, S. 506–516 – DOI: 10.1002/bate.201700027
- [5] DVW e.V. – Gesellschaft für Geodäsie Geoinformation und Landmanagement; Runder Tisch GIS e. V. (Hrsg.): Leitfaden Geodäsie und BIM – Version 3.1. 2022.
- [6] DIN EN 13791:2020-02: Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in Bauwerksteilen; Deutsche Fassung EN 13791:2019.
- [7] Schnell, J.; Zilch, K.; Dunkelberg, D.; Weber, M.: Sachstandbericht Bauen im Bestand – Teil I: Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung von bestehenden Bauwerken. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau e.V. (DAFStb, Hrsg.): Schriftenreihe des DAFStb, Heft 616, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2016.  
DIN EN 1992-1-1:2011-01: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 und AC:2010
- [8] Trost, H.; Cordes, H.; Thormählen, U.; Hagen, H.: Teilweise Vorspannung – Verbundfestigkeit von Spanngliedern und ihre Bedeutung für Rißbildung und Rißbreitenbeschränkung. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau e.V. (DAFStb, Hrsg.): Schriftenreihe des DAFStb, Heft 310, Berlin: Ernst & Sohn, 1980.
- [9] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V. (DGZfP, Hrsg.): DGZfP-Merkblatt B04: Ultraschallverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. 2018.

## Bildquellen

Bilder 1–3, 7–9: MKP GmbH  
Bilder 4–6, 10: Peter Betz