

---

# Brückenseile – zerstörungsfreie Prüfverfahren

---

Fachveröffentlichung der  
Bundesanstalt für  
Straßenwesen

---

# Brückenseile – zerstörungsfreie Prüfverfahren

---

von

Philipp Dietsch, Thomas Ummenhofer  
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

---

## Impressum

Fachveröffentlichung zu Forschungsprojekt: 15.0620  
Brückenseile – zerstörungsfreie Prüfverfahren

Fachbetreuung:  
Heinz Friedrich

Referat:  
Stahlbau, Korrosionsschutz, Brückenausstattung

Herausgeber:  
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

<https://doi.org/10.60850/fv-b-15.0620>

Bergisch Gladbach, Juli 2024

Zu diesem Forschungsprojekt werden nur die Kurzfassung und der Kurzbericht veröffentlicht. Die Langfassung des Schlussberichts kann auf Anfrage an [verlag@bast.de](mailto:verlag@bast.de) zur Verfügung gestellt werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben. Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

# Brückenseile – zerstörungsfreie Prüfverfahren

## Kurzfassung

Bei der Errichtung von Brückenbauwerken mit großen Spannweiten ist die Verwendung von hochfesten Zuggliedern nahezu alternativlos. Unterschieden wir hierbei zwischen Hängebrücken, Schrägseilbrücken und Seilbrücken, wobei letztere aufgrund des nicht vorhandenen Versteifungsträgers in erster Linie dem nichtmotorisierten Verkehr vorbehalten sind. Eingesetzt werden hier i.d.R. vollverschlossene Drahtseile, wobei sich der Einsatz von Litzenbündelseilen zusehends verbreitet. Beide Arten von Zuggliedern sind in EN 1993-1-11 geregelt. Die entsprechenden Schutzziele lauten:

- ausreichende Sicherheit der Brücke in Grenzzuständen der Tragfähigkeit
- ausreichende Nutzungssicherheit in ständigen Bemessungssituationen
- ausreichende Dauerhaftigkeit und geringer Unterhaltungsaufwand

Die geforderte Robustheit und Nachhaltigkeit wird insbesondere bei der Verwendung von Zuggliedern in Brückenbauwerken angestrebt, da die Zugglieder entweder gar nicht oder nur mit sehr großem Aufwand ausgetauscht werden können. Die Zugglieder bestimmen daher als einer der Hauptkomponenten wesentlich die Lebensdauer eines Brückenbauwerks.

Schäden bei den verwendeten Zuggliedern äußern sich insbesondere durch Drahtbrüche, die verschiedene Ursachen haben können.

Um hier ein gleichbleibendes Sicherheitsniveau zu gewährleisten, sind regelmäßige Prüfungen unerlässlich. Da Sichtprüfungen naturgemäß nur Oberflächenschäden detektieren können (und aufgrund vorhandener Korrosionsschutzschichten ggf. großen Einschränkungen unterliegen), bieten sich hier unter Abwägung der technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit magnetinduktive Prüfungen an. Das Prinzip der magnetinduktiven Untersuchungen ist seit vielen Jahrzehnten bekannt und fand im Rahmen der Prüfung von Zuggliedern in der Vergangenheit bislang vor allem Anwendung im Seilbahnbau sowie bei der Prüfung von bergmännischen Seilen.

Eine Anwendung auf Brückenbauwerke stellt eine Entwicklung der neueren Zeit dar, was sich auch in den nur rudimentären Vorgaben im entsprechenden Regelwerk RI-ERH-ING manifestiert.

Auf Basis eines Ringversuchs, an dem die zwei Prüfstellen DMT und ROTEC beteiligt waren, wurden verschiedene Seilzugglieder (drei vollverschlossene Seile sowie zwei Litzenbündelseile), die zuvor künstlich mit Ungängen versehen worden waren, zerstörungsfrei geprüft. Die Anzahl und die Lage der Ungängen waren weder der Forschungsstelle noch den beteiligten Prüfstellen bekannt.

Neben magnetinduktiven Verfahren unter Anwendung unterschiedlicher Sensortypen wurden auch Ultraschallprüfungen im Bereich der Seilendverbindungen durchgeführt.

Die magnetinduktiven Prüfungen wurden am KIT in Karlsruhe durchgeführt; die Ultraschallprüfungen fanden im Nachgang auf dem Gelände der BASt statt.

Auf Basis der Ergebnisse der Prüfungen wurden Empfehlungen für eine Erweiterung der RI-ERH-ING erarbeitet. Die Empfehlungen sind nicht abschließend, da eine finale Bewertung der Leistung der Prüfstellen ohne Kenntnisse über die in die Probekörper eingebrachten Ungängen nicht möglich war.

## **Bridge Cables – nondestructive Testing**

### **Abstract**

When constructing bridges with large spans, there is virtually no alternative to the use of high-strength tension members. A distinction is made between suspension bridges, cable-stayed bridges and rope bridges, the latter being primarily reserved for non-motorized traffic due to the absence of a stiffening girder. As a rule, fully locked wire ropes are used here, although the use of strand bundle ropes is becoming increasingly widespread. Both types of tension members are regulated in EN 1993-1-11. The corresponding protection targets are:

- sufficient safety of the bridge in ultimate limit states
- sufficient safety in use in permanent design situations
- sufficient durability and low maintenance requirements

The required robustness and sustainability are particularly sought after in the use of tension members in bridge structures, since the tension members can either not be replaced at all or only at great expense. The tension members are therefore one of the main components that essentially determine the service life of a bridge structure.

Damage to the tension members used is manifested in particular by wire breaks, which can have various causes.

In order to ensure a consistent level of safety here, regular inspections are essential. Since visual inspections can, by their very nature, only detect surface damage (and may be subject to major limitations due to the presence of corrosion protection layers), magneto-inductive testing is an option here, taking into account the technical and economic feasibility. The principle of magneto-inductive testing has been known for many decades and has been used in the past for testing tension members, especially in ropeway construction and in the testing of mining ropes.

An application to bridge structures is a recent development, which is also manifested in the only rudimentary specifications in the corresponding RI-ERH-ING regulations.

On the basis of an interlaboratory test involving the two test centers DMT and ROTEC, various rope tension members (three fully locked coil ropes and two strand bundle ropes), which had previously been artificially provided with discontinuities, were tested non-destructively. The number and location of the discontinuities were known neither to the research center nor to the participating test centers.

In addition to magnetic inductive methods using different types of sensors, ultrasonic tests were also carried out in the area of the rope end connections.

The magnetic induction tests were carried out at the KIT in Karlsruhe; the ultrasonic tests took place subsequently on the BASt premises.

Based on the results of the tests, recommendations for an extension of the RI-ERH-ING were developed. The recommendations are not conclusive, as a final evaluation of the performance of the test sites was not possible without knowledge of the discontinuities introduced into the specimens.

# Kurzbericht

## 1 Einleitung

Bei der Errichtung von Brückenbauwerken mit großen Spannweiten ist die Verwendung von hochfesten Zuggliedern nahezu alternativlos. Unterschieden wir hierbei zwischen Hängebrücken, Schrägseilbrücken und Seilbrücken, wobei letztere aufgrund des nicht vorhandenen Versteifungsträgers in erster Linie dem nichtmotorisierten Verkehr vorbehalten sind. Eingesetzt werden hier i.d.R. vollverschlossene Drahtseile, wobei sich der Einsatz von Litzenbündelseilen zusehends verbreitet. Beide Arten von Zuggliedern sind in EN 1993-1-11 geregelt. Die entsprechenden Schutzziele sind die ausreichende Sicherheit der Brücke im Grenzzustand der Tragfähigkeit, die Nutzungssicherheit in ständiger Bemessungssituation sowie die ausreichende Dauerhaftigkeit bei geringem Unterhaltungsaufwand.

Die geforderte Robustheit und Nachhaltigkeit wird insbesondere bei der Verwendung von Zuggliedern in Brückenbauwerken angestrebt, da die Zugglieder entweder gar nicht oder nur mit sehr großem Aufwand ausgetauscht werden können. Die Zugglieder bestimmen daher als einer der Hauptkomponenten wesentlich die Lebensdauer eines Brückenbauwerks.

Schäden bei den verwendeten Zuggliedern äußern sich insbesondere durch Drahtbrüche, die verschiedene Ursachen haben können.

Um hier ein gleichbleibendes Sicherheitsniveau zu gewährleisten, sind regelmäßige Prüfungen unerlässlich. Da Sichtprüfungen naturgemäß nur Oberflächenschäden detektieren können (und aufgrund vorhandener Korrosionsschutzschichten ggf. großen Einschränkungen unterliegen), bieten sich hier unter Abwägung der technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit magnetinduktive Prüfungen an. Das Prinzip der magnetinduktiven Untersuchungen ist seit vielen Jahrzehnten bekannt und fand im Rahmen der Prüfung von Zuggliedern in der Vergangenheit bislang vor allem Anwendung im Seilbahnbau sowie bei der Prüfung von bergmännischen Seilen statt.

Eine Anwendung auf Brückenbauwerke stellt eine Entwicklung der neueren Zeit dar, was sich auch in den nur rudimentären Vorgaben im entsprechenden Regelwerk RI-ERH-ING manifestiert. Auf Basis eines Ringversuchs, an dem die zwei Prüfstellen DMT und ROTEC beteiligt waren, wurden verschiedene Seilzugglieder (drei vollverschlossene Seile sowie zwei Litzenbündelseile), die zuvor künstlich mit Ungängen versehen worden waren, zerstörungsfrei geprüft. Die Anzahl und die Lage der Ungängen waren weder der Forschungsstelle noch den beteiligten Prüfstellen bekannt.

Neben magnetinduktiven Verfahren unter Anwendung unterschiedlicher Sensortypen wurden auch Ultraschallprüfungen im Bereich der Seilendverbindungen durchgeführt.

Auf Basis der Ergebnisse der Prüfungen wurden Empfehlungen für eine Erweiterung der RI-ERH-ING erarbeitet. Die Empfehlungen sind nicht abschließend, da eine finale Bewertung der Leistung der Prüfstellen ohne Kenntnisse über die in die Probekörper eingebrachten Ungängen nicht möglich war.

## 2 Prüfung

Die Prüfungen, basierend auf magnetinduktiven Verfahren, wurden am 28. und 29. Juni 2022 (DMT) sowie am 30. Juni 2022 (ROTEC) am KIT in Karlsruhe durchgeführt. Die ergänzende Ultraschallprüfung im Bereich der Endverbindungen (DMT) erfolgte am 27. Juli 2022 auf dem Gelände der BASt in Bergisch-Gladbach

### 2.1 Prüfkörper

Bei den bereitgestellten Prüfkörpern handelte es sich um zwei Litzenbündelseile (LBS) mit einem Außendurchmesser des Hüllrohrs von 180 mm und 280 mm sowie um drei vollverschlossene Spiralseile (VVS) mit Durchmessern von 80 mm, 110 mm und 130 mm. Nach den Vorgaben der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurden Fehlstellen (Drahtbrüche und Kerben) an zuvor definierten Positionen eingefügt. Die Lage dieser Fehlstellen war weder der forschenden Stelle noch den Prüfstellen zum Zeitpunkt der Prüfung bekannt. Alle Zugglieder wiesen eine freie Länge von 6,33 m auf.

### 2.2 Magnetinduktive Prüfung

#### 2.2.1 Grundprinzip

Bei der magnetinduktiven Seilprüfung handelt es sich um ein Streuflussverfahren. Beim Durchlauf durch das Prüfgerät wird das Zugglied in Längsrichtung durch einen Magneten bis zur magnetischen Sättigung aufmagnetisiert. Durch geometrische oder magnetische Inhomogenität entstehen im realen Seil Streufelder, die unter Verwendung von Induktionsspulen oder Hall-Sensoren in ein digitales Signal umgewandelt werden können. Aus dem so gemessenen Prüfsignal können dann Rückschlüsse auf mögliche Fehlstellen im Seil gezogen werden.

#### 2.2.2 Prüfgeräte

Für die Prüfungen an den vollverschlossenen Seilen wurden durch die Prüfstelle ROTEC zwei verschiedene Prüfgeräte (bzw. Sensorarrays) verwendet. Beide Prüfgeräte basieren auf einer Magnetisierung durch sechs über den Umfang angeordneten Permanentmagnete, wobei die Sensorik in einem Ring zwischen den Permanentmagneten und dem Zugglied angeordnet ist. Der Hauptunterschied zwischen den beiden verwendeten Prüfgeräten waren die beim Prüfgerät des Typs ROPESYS die zusätzlich vorhandenen Hall-Sensoren, die beim konventionellen Prüfgerät nicht vorhanden waren.

Die Prüfungen an den vollverschlossenen Seilen wurden durch die Prüfstelle DMT mit dem Prüfgerät MH 80-120 durchgeführt, das durch unterschiedliche Sensoranordnungen dem jeweiligen Seildurchmesser angepasst wurde. Beide Prüfkonfigurationen waren sowohl mit Spulensensoren (Viertel-Spulen) als auch mit Hall-Sensoren ausgestattet.

Abweichend von den für die Prüfung der vollverschlossenen Seile eingesetzten Prüfgeräte erfolgte die Prüfung des Litzenbündelseils mit dem Prüfsystem RTI-E 180/24, bei dem das Magnetfeld über sechs Gleichfeldspulen erzeugt wurde. Neben 24 Spulensensoren verfügte dieses Prüfgerät zusätzlich über 24 Hall-Sensoren, die gleichmäßig verteilt in radialer Richtung angeordnet waren.

### 2.2.3 Ablauf

Nach den Vorgaben der Ausschreibung waren die Zugglieder hängend zu prüfen. Während einer der vorhandenen Deckenkrane zum Heben des Zugglieds eingesetzt wurde, diente der zweite Deckenkran als Widerlager für die eingesetzte Seilwinde, mit der sowohl das Ablassen der Transporthilfen als auch das Verfahren der Prüfgeräte realisiert wurde.

Nach erfolgter Montage und Ausrichtung der Prüfgeräte wurden diese jeweils über zwei Umlenkrollen mit einer Seilwinde verbunden, mit der sich sowohl eine Verfahrensgeschwindigkeit von 0,15 m/s als auch von 0,3 m/s realisieren ließ. Sämtliche Prüfungen wurden mit beiden Geschwindigkeiten nacheinander durchgeführt.

Hierbei war zu beobachten, dass sich mit der größeren Zuggeschwindigkeit eine konstantere Geschwindigkeit über die freie Seillänge erreichen ließ. Allerdings waren hier die Schwankungen der Geschwindigkeit beim Start der Prüfung signifikant größer als bei der Prüfung mit der geringeren Zuggeschwindigkeit.

### 2.3 Ultraschallprüfung

Die Ultraschallprüfungen im Bereich der Endverbindungen wurden unter Anwendung der Impuls-Echo-Technik durchgeführt. Die Einlaufbereiche der vollverschlossenen Seile wurden durch Schrägeinschallung geprüft. Die Auswahl des Ultraschallprüfkopfes sowie die Wahl der Einstellparameter erfolgten auf Basis von im Vorfeld an eigens präparierten Drähten sowie an standardisierten Proben durchgeführten Vorprüfungen. Sofern bei der Prüfung eine Ungänze auf Basis eines Ausschlags im Frequenzband detektiert wurde, wurde die Lage der entsprechenden Stelle (Draht und Abstand zur Endverbindung) schriftlich dokumentiert. Im Anschluss an die Prüfung der Drahtoberflächen erfolgte die Prüfung der Drähte in Längsrichtung durch Aufsetzen des Messkopfes auf die überstehenden Drahtenden sowohl bei den vollverschlossenen Seilen als auch bei den Litzenbündelseilen.

### 3 Auswertung

Die Auswertung erfolgte auf Grundlage der von den beiden Prüfstellen erstellten Ergebnisberichten. In diesen sind neben den grundsätzlichen Messparametern die Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen enthalten. Nach Angaben der Prüfstellen erfolgte die Bewertung der ermittelten Messschriebe „händisch“, d.h. die Entscheidung, ob ein bestimmtes Signal auf eine Ungänze hindeutet, wurde auf Basis von Erfahrungen getroffen. In Bild 1 ist der Vergleich der Ergebnisse beispielhaft für die Prüfung des VVS 80 dargestellt. Sie zeigt das Prüfsignal beider Prüfstellen und die detektierten Fehlstellen. In grün sind die Fehlstellen markiert, die von beiden Prüfstellen als solche identifiziert wurden.

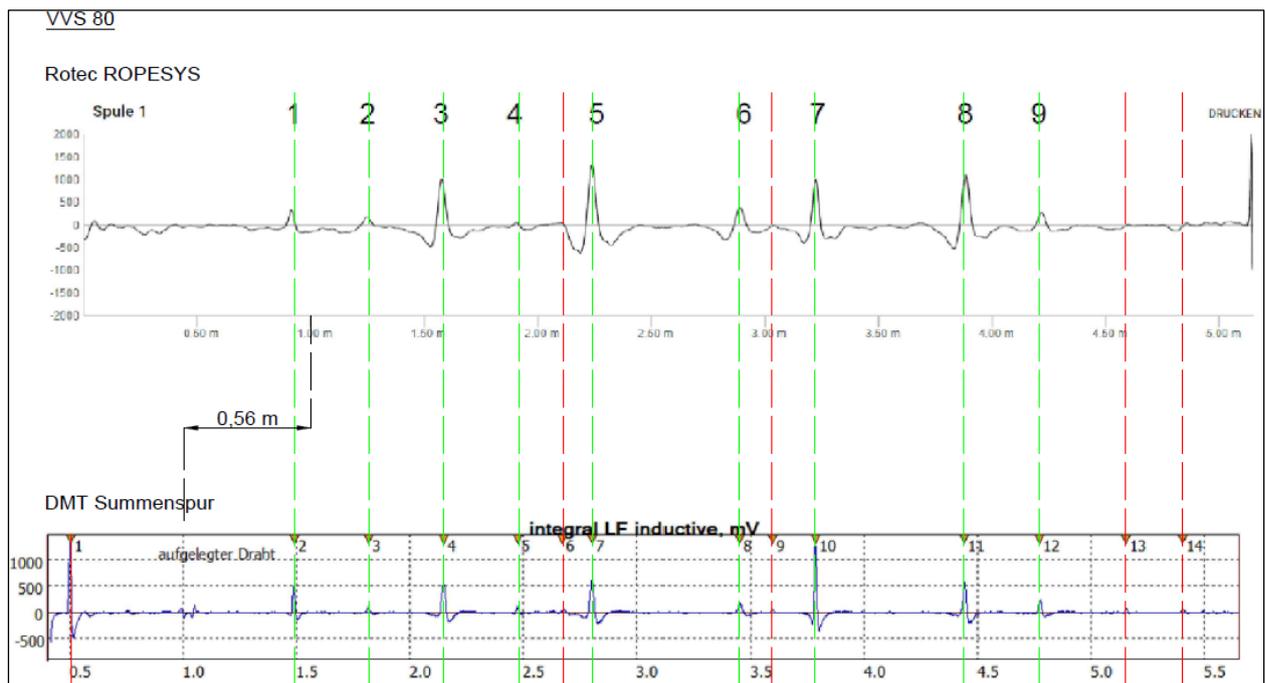


Bild 1: Vergleich der Prüfergebnisse VVS 80

### 4 Bewertung

Es fällt auf, dass die Interpretation der Daten der magnetinduktiven Prüfung, abhängig von der Prüfstelle, einen unterschiedlichen Konkretisierungsgrad aufweist:

Während die Prüfstelle ROTEC die Ungänzen direkt benennt, werden die einzelnen Anzeigen durch die Prüfstelle DMT lediglich charakterisiert. Gleiches gilt auch für die Ergebnisse der Ultraschallprüfungen im Bereich der Endverbindungen.

Da weder der Forschungsstelle noch den beteiligten Prüfstellen Informationen über Lage und Art der künstlich eingebrachten Ungänzen vorliegen, ist eine direkte Bewertung der Prüfergebnisse nicht möglich. In diesem Zusammenhang wird angeregt, eine Analyse durch eine am Projekt nicht beteiligte dritte Person durchführen zu lassen, wobei als Ergebnis eine qualitative Aussage (z.B. prozentualer Anteil der korrekt detektierten Ungänzen) stehen könnte.

## 5 Empfehlung

Obwohl die zerstörungsfreie Prüfung von Seilen durch magnetinduktive Verfahren z.B. im Bereich der Seile für Seilbahnen bereits seit Jahrzehnten gängige Praxis ist, existiert für die Durchführung entsprechender Prüfungen an Zuggliedern von Brückenbauwerken kein verbindliches Regelwerk. Um bei der Neufassung der Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauwerken RI-ERH-ING das magnetinduktive Verfahren als die bevorzugte Alternative zur „handnahen“ Prüfung zu etablieren, werden nachfolgend Empfehlungen unterbreitet, die auf den Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt basieren.

Nach übereinstimmender Aussage beider Prüfstellen haben Witterungsbedingungen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Niederschlag keinen Einfluss auf die Prüfergebnisse.

Der Abstand der Sensoren bzw. der Magnetisierungseinheit vom Seil stellt einen entscheidenden Parameter dar, an der ggf. die Durchführung einer gültigen Prüfung scheitert. Hier sollten auf Basis von Reihenprüfungen objektive Kriterien wie z.B. ein Maximalabstand festgelegt werden.

Die bei den Geräten eingesetzten Sensorarrays, die sowohl über Spulensensoren als auch Hall-Sensoren verfügen, scheinen am besten geeignet.

Die Abweichungen zwischen den beiden Prüfstellen bzgl. der Ergebnisse zeigen, dass eine Lokalisierung entsprechender Fehlstellen im inneren eines Querschnitts noch nicht immer zuverlässig möglich ist.

Bei der Durchführung der Prüfungen ist stets eine Wiederholung der Prüfungen zu empfehlen. Aufgrund der vergleichsweise kurzen Messabschnitte bei Brückenseilen können Prüfungen ohne großen Zeitaufwand wiederholt werden, wodurch mehrere Messdurchläufe mit variierenden Prüfparametern eine sinnvolle Option sein können.

Die beiden im Forschungsprojekt untersuchten Geschwindigkeiten hatten keinen Einfluss auf die Detektion der Ungängen.

Bislang basiert die Erkennung von Ungängen ausschließlich auf Erfahrung und ist nicht rückführbar auf objektive Kriterien. Hier besteht, insbesondere im Hinblick auf die Wiederholgenauigkeit, dringender Forschungsbedarf. Bzgl. der Abtastfrequenz ist eine Auflösung von 0,5 mm bis 1,0 mm, bezogen auf den zurückgelegten Weg des Prüfgeräts, üblich.

Auf Basis der Empfehlungen in DIN EN 12927 Anhang C, sollte ein entsprechender Prüfer die Qualifikation der Stufe 2 aufweisen. Alternativ wäre auch die Etablierung eines eigenen Qualifizierungsschemas für die Prüfer von Brückenseilen denkbar. Außerdem sollte überprüft werden, ob eine Verkürzung des angesetzten Kalibrierintervalls von 3 Jahren sinnvoll ist.

Entsprechend den Vorgaben in Anhang B, ist eine vollständige Magnetisierung des Seils anzustreben, was bei Flussdichten von 1,9 Tesla bis 2,3 Tesla vorliegt. Die aufgeführten Punkte zur Dokumentation sollten um eine Beschreibung der Prüfgeräte, Kriterien zur Feststellung von Ungängen, Umgebungsbedingungen, Abstand der Sensoren / Magnetisierungseinheit zum Seil, Prüfgeschwindigkeit, Abtastfrequenz und Anzahl Wiederholungen der Prüfung ergänzt werden.

# Summary

## 1 Introduction

When constructing bridges with large spans, there is virtually no alternative to the use of high-strength tension members. A distinction is made between suspension bridges, cable-stayed bridges and rope bridges, the latter being primarily reserved for non-motorized traffic due to the absence of a stiffening girder. As a rule, fully locked wire ropes are used here, although the use of strand bundle ropes is becoming increasingly widespread. Both types of tension members are regulated in EN 1993-1-11. The corresponding protection goals are adequate safety of the bridge in the ultimate limit state, safety in use in the permanent design situation, and adequate durability with low maintenance requirements.

The required robustness and sustainability are particularly sought in the use of tension members in bridge structures, since the tension members can either not be replaced at all or only at great expense. As one of the main components, the tension members therefore essentially determine the service life of a bridge structure.

Damage to the tension members used manifests itself in particular in the form of wire breaks, which can have various causes.

In order to ensure a consistent level of safety here, regular inspections are essential. Since visual inspections can, by their very nature, only detect surface damage (and may be subject to major limitations due to the presence of corrosion protection layers), magneto-inductive testing is an option here, taking into account the technical and economic feasibility. The principle of magneto-inductive testing has been known for many decades and has been used in the past for testing tension members, especially in ropeway construction and in the testing of mining ropes. An application to bridge structures is a more recent development, which is also manifested in the only rudimentary specifications in the corresponding RI-ERH-ING regulations.

On the basis of an interlaboratory test involving the two test centers DMT and ROTEC, various rope tension members (three fully locked coil ropes and two strand bundle ropes), which had previously been artificially provided with discontinuities, were tested non-destructively. The number and location of the discontinuities were known neither to the research center nor to the participating test centers.

In addition to magnetic induction methods using different types of sensors, ultrasonic tests were also carried out in the area of the rope end connections.

Based on the results of the tests, recommendations for an extension of the RI-ERH-ING were developed. The recommendations are not conclusive, since a final evaluation of the performance of the test points was not possible without knowledge of the discontinuities introduced into the test specimens.

## 2 Testing

The tests, based on magnetic induction methods, were carried out on June 28 and 29, 2022 (DMT) and June 30, 2022 (ROTEC) at KIT in Karlsruhe. The supplementary ultrasonic testing in the area of the end connections (DMT) was carried out on July 27, 2022 at the BASt site in Bergisch-Gladbach.

### 2.1 Test specimen

The test specimens provided were two strand bundle ropes (LBS) with an outer diameter of the sheath of 180 mm and 280 mm and three fully locked coil ropes (VVS) with diameters of 80 mm, 110 mm and 130 mm. According to the specifications of the German Federal Highway Research Institute (BASt), flaws (wire breaks and notches) were inserted at previously defined positions. The location of these flaws was known neither to the research body nor to the test centers at the time of testing. All tension members had a free length of 6.33 m.

### 2.2 Magnetic induction testing

#### 2.2.1 Basic principle

Magneto-inductive rope testing is a flux leakage method. When passing through the testing device, the tension member is magnetized in the longitudinal direction by a magnet until magnetic saturation is reached. Geometric or magnetic inhomogeneity causes stray fields in the real rope, which can be converted into a digital signal using induction coils or Hall sensors. The test signal measured in this way can then be used to draw conclusions about possible defects in the rope.

#### 2.2.2 Test devices

For the tests on the fully locked ropes, two different test devices (or sensor arrays) were used by the ROTEC test center. Both test devices are based on magnetization by six permanent magnets arranged around the circumference, with the sensor system arranged in a ring between the permanent magnets and the tension member.

The main difference between the two testers used was the additional Hall sensors present in the ROPESYS tester, which were not present in the conventional tester.

The tests on the fully locked ropes were carried out by the DMT test center using the MH 80-120 testing device, which was adapted to the respective rope diameter by means of different sensor arrangements. Both test configurations were equipped with both coil sensors (quarter coils) and Hall sensors.

In a departure from the test equipment used for testing the fully locked coil ropes, the strand bundle rope was tested using the RTI-E 180/24 test system, in which the magnetic field was generated by six DC coils. In addition to 24 coil sensors, this testing device also had 24 Hall sensors evenly distributed in the radial direction.

### 2.2.3 Procedure

According to the specifications of the tender, the tension members were to be tested in a suspended position. While one of the existing overhead cranes was used to lift the tensile member, the second overhead crane served as an abutment for the cable winch used to lower the transport aids and move the test equipment.

After the test equipment had been assembled and aligned, it was connected to a winch via two pulleys, which allowed a travel speed of 0.15 m/s and 0.3 m/s. All tests were carried out with both overhead cranes. All tests were carried out at both speeds in succession.

It was observed that a more constant speed could be achieved over the free rope length with the higher traction speed. However, the fluctuations in speed at the start of the test were significantly greater than in the test with the lower tensile speed.

### 2.3 Ultrasonic testing

The ultrasonic tests in the area of the end connections were carried out using the im-pulse echo technique. The inlet areas of the fully locked ropes were tested by inclined scanning. The ultrasonic probe and the setting parameters were selected on the basis of preliminary tests carried out on specially prepared wires and standardized specimens. If an imperfection was detected during the test on the basis of a deflection in the frequency band, the location of the corresponding point (wire and distance to the end connection) was documented in writing. Following the testing of the wire surfaces, the wires were tested in the longitudinal direction by placing the measuring head on the protruding wire ends, both for the fully closed ropes and for the stranded bundle ropes.

### 3 Evaluation

The evaluation was based on the results reports prepared by the two testing laboratories. In addition to the basic measurement parameters, these reports contain the results of the tests carried out. According to the test centers, the evaluation of the determined measurement records was carried out "manually", i.e. the decision as to whether a certain signal indicated incompleteness was made on the basis of experience. Figure 1 shows an example of the comparison of the results for the VVS 80 test. It shows the test signal of both test points and the detected defects. The defects that were identified as such by both test centers are marked in green.

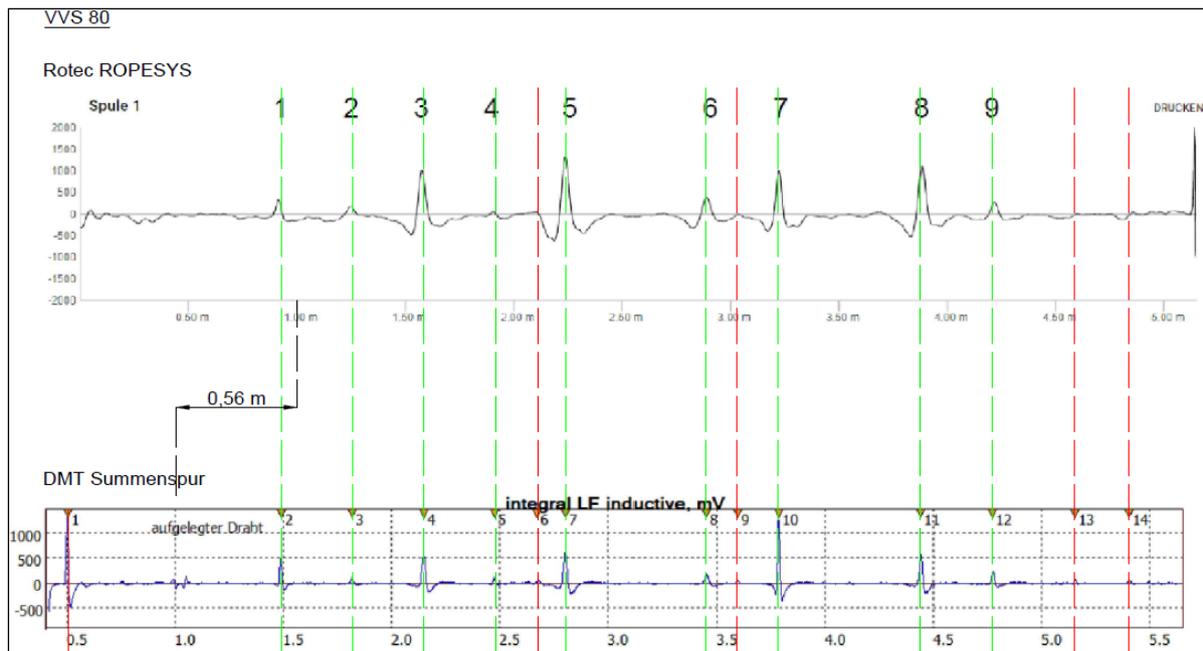


Fig. 1: Comparison of test results

### 4 Assessment

It is noticeable that the interpretation of the data of the magnetic induction test shows a different degree of concretization depending on the testing laboratory:

Whereas the ROTEC testing laboratory names the defects directly, the DMT testing laboratory merely characterizes the individual indications. The same applies to the results of the ultrasonic tests in the area of the end connections.

Since neither the research center nor the test centers involved have information on the location and type of the artificially introduced discontinuities, a direct evaluation of the test results is not possible. In this context, it is suggested that an analysis be carried out by a third party not involved in the project, the result of which could be a qualitative statement (e.g. percentage of correctly detected discontinuities).

## 5 Recommendation

Although the non-destructive testing of ropes by means of magnetic induction methods has been common practice for decades, e.g. in the field of ropes for ropeways, there are no binding regulations for the performance of corresponding tests on tension members of bridge structures. In order to establish the magnetic induction method as the preferred alternative to "near-hand" testing in the new version of the RI-ERH-ING guidelines for the maintenance of engineering structures, recommendations based on the experience gained from the research project are presented below.

According to the unanimous statement of both test centers, weather conditions such as temperature, humidity or precipitation have no influence on the test results.

The distance of the sensors or the magnetization unit from the rope is a decisive parameter which may prevent a valid test from being carried out. Here, objective criteria such as a maximum distance should be defined on the basis of series tests.

The sensor arrays used with the devices, which have both coil sensors and Hall sensors, seem to be the most suitable.

The deviations between the two test locations with regard to the results show that it is not always possible to reliably locate corresponding defects inside a cross-section.

When carrying out the tests, it is always recommended to repeat the tests. Due to the comparatively short measuring sections of bridge cables, tests can be repeated without much time expenditure, which means that several measuring runs with varying test parameters can be a sensible option.

The two speeds investigated in the research project had no influence on the detection of discontinuities.

Up to now, the detection of discontinuities has been based exclusively on experience and is not traceable to objective criteria. There is an urgent need for research in this area, especially with regard to repeatability. With regard to the scanning frequency, a resolution of 0.5 mm to 1.0 mm, related to the travelled path of the testing device, is common.

Based on the recommendations in DIN EN 12927 Annex C, a corresponding tester should have the level 2 qualification. Alternatively, it would also be conceivable to establish a separate qualification scheme for bridge rope inspectors. Furthermore, it should be checked whether a shortening of the calibration interval of 3 years is reasonable.

According to the specifications in Annex B, a complete magnetization of the rope is to be aimed at, which exists at flux densities of 1.9 Tesla to 2.3 Tesla. The listed points for documentation should be supplemented by a description of the test equipment, criteria for the detection of deficiencies, environmental conditions, distance of the sensors / magnetization unit to the rope, test speed, scanning frequency and number of repetitions of the test.