

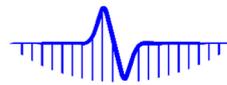
## Magnetische Streufeldmessung

### Zerstörungsfreie Ortung von Brüchen und Rissen in der Spannbewehrung



Bild 1: Einsatz der magnetischen Streufeldmessung auf der Kochertalbrücke BAB A 6.

<u>Bauwerke:</u>	Dächer, Hallen, Parkdecks, Brücken, Behälterbauwerke
<u>Messverfahren:</u>	<p><b>Magnetische Streufeldmessung</b> (auch als <u>Remanenzmagnetismus-Verfahren</u> und <u>Spannstahlbruch-ortung</u> bekannt): zerstörungsfreie Prüfung, kein Kontakt zur Bewehrung notwendig, keine Beeinträchtigung durch Deckschichten (Asphalt, Beschichtungen, Dämmungen).</p>
<u>System:</u>	<p><b>MobiRem - Messsystem</b></p> <p><u>REM 40</u>: kleine Messeinheit für Brückenträger und Dach- bzw. Deckenbinder;</p> <p><u>REM 150</u>: mittlere Messeinheit für Straßenbrücken, Parkhäuser und Behälterbauwerke;</p> <p><u>REM 350</u>: große Messeinheit für Straßen- und Autobahnbrücken;</p> <p><u>Permanentmagnete</u> unterschiedlicher Größe</p>
<u>Stromversorgung:</u>	<p>kleine Messeinheit (REM 40) u.a. mit <u>Normalstrom 230 V</u>, mittlere (REM 150) und große Messeinheit (REM 350) mit <u>mind. 60 kVA</u> und <u>Isolations-Überwachung</u>.</p>



## 1. Die magnetische Streufeldmessung

Die magnetische Streufeldmessung, auch als Remanenzmagnetismus-Verfahren (RM-Verfahren) und Spannstahlbruchortung bekannt, ist eine zerstörungsfreie Prüfmethode, mit der Brüche, Risse oder ausgeprägte Korrosionsbereiche in Spannstählen in Spannbetonkonstruktionen festgestellt werden können. Sie erlaubt eine schnelle und effiziente Untersuchung und liefert als Ergebnis eine aktuelle Zustandsanalyse der Spannglieder, die für eine rechnerische Abschätzung der Resttragfähigkeit des Bauwerks verwendet werden kann. In Abhängigkeit der jeweiligen Einflussparameter ist es möglich, Risse bzw. Brüche in Spanngliedern bzw. -drähten schon bei einer Querschnittsminderung von etwa 20% des Gesamtquerschnitts festzustellen.

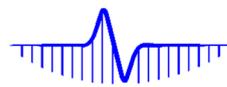
Die magnetische Streufeldmessung kann bei Spannstählen sowohl im sofortigen Verbund (Spannbetonfertigteile) als auch im nachträglichen Verbund (in verpressten Hüllrohren) durchgeführt werden, ohne dass die Konstruktion lokal zerstörend geöffnet werden muss.

Mit den der IFDB-GmbH zur Verfügung stehenden Prüfgeräten (siehe Abschnitt 3 auf Seite 5) sind wir in der Lage, nahezu jedes Spannbetonbauwerk bzw. Spannbetonbauteil zerstörungsfrei auf Brüche in den Spanngliedern zu untersuchen. Für die folgenden Bauwerksarten hat sich das Verfahren der magnetischen Streufeldmessung bereits qualifiziert:

- Fahrbahnplatten von Brückenbauwerken (Straßen- und Autobahnbrücken) mit einer Überprüfungsleistung bis zu 3.600 m<sup>2</sup> am Tag,
- Spannbetonträger von Brückenbauwerken,
- Bodenplatten von Parkhäusern (Parkdecks),
- Spannbetonbinder von Hallenbauwerken (Schwimm-, Sport- und Industriehallen) und Geschossdecken,
- VT-Falten von Hallendächern,
- Tankbehälter in Spannbetonbauweise.

Eine Übersicht über die bisher durchgeführten Prüfeinsätze der magnetischen Streufeldmessung gibt die Referenzliste am Ende dieser Broschüre.

Eine speziell für das Prüfverfahren programmierte Messsoftware ermöglicht eine erste Einschätzung des Zustands des Bauteils unmittelbar im Anschluss an die Messung. Analytisch mit Rechnerunterstützung folgt die detaillierte Auswertung der Messdaten.



## Versagen von Spannstählen

Die Gefahr des Versagens von Spanndrähten besteht bei alterungsempfindlichen Spannstahlsorten, bei mangelhaftem Korrosionsschutz oder aufgrund äußerer Einflüsse wie das versehentliche Anbohren der Spannglieder.

Spannbetonbauwerke, die vor 1975 hergestellt worden sind, können aufgrund der Sprödbruchanfälligkeit der Spannstähle hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und Resttragfähigkeit beeinträchtigt sein. Zu den sprödbruchempfindlichen Spannstählen zählen der „Neptun N40“ und der „Sigma Oval“. Spannungsrisskorrosionsempfindliche Spannstähle wurden bis 1978 verbaut. Auch der vergütete Hennigsdorfer Spannstahl bis zum Produktionsende 1993 weist diese Materialempfindlichkeit auf. Die Bruchempfindlichkeit dieser Spannstähle ist unabhängig von Umfeldbedingungen, selbst wenn die Hüllrohre vollständig verpresst sind.

Mangelhafter Korrosionsschutz erhöht die Bruchwahrscheinlichkeit sämtlicher Spannstahlsorten, insbesondere wenn Chloride durch Tausalze oder Aerosole (Schwimmbadatmosphäre, Desinfektion) den Beton infolge Diffusion durchdringen.

## **2. Der physikalische Effekt und das Messprinzip**

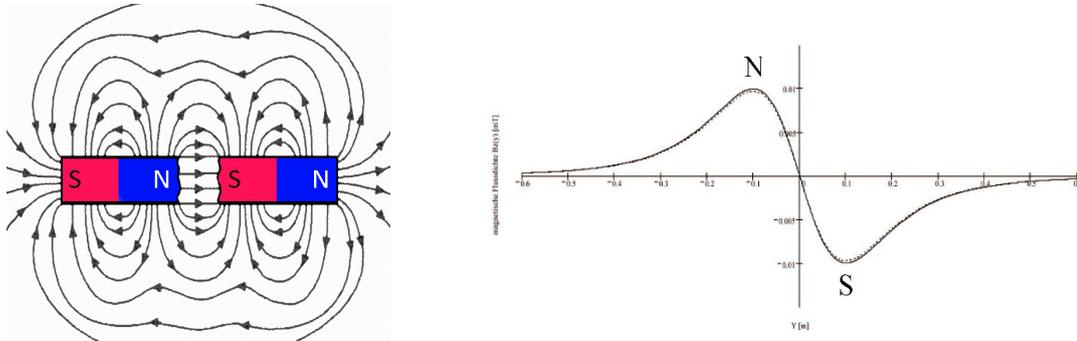
Die magnetische Streufeldmessung, auch als Remanenzmagnetismus-Verfahren (RM-Verfahren) und Spannstahlbruchortung bekannt, ist eine zerstörungsfreie Prüfmethode, mit der Brüche, Risse oder ausgeprägte Korrosionsbereiche in Spannstählen in Spannbetonkonstruktionen festgestellt werden können. Sie erlaubt eine schnelle und effiziente Untersuchung und liefert als Ergebnis eine aktuelle Zustandsanalyse der Spannglieder, die für eine rechnerische Abschätzung der Resttragfähigkeit des Bauwerks verwendet werden kann. In Abhängigkeit der jeweiligen Einflussparameter ist es möglich, Risse bzw. Brüche in Spanngliedern bzw. -drähten schon bei einer Querschnittsminderung von etwa 20% des Gesamtquerschnitts festzustellen.

Die magnetische Streufeldmessung kann bei Spannstählen sowohl im sofortigen Verbund (Spannbetonfertigteile) als auch im nachträglichen Verbund (in verpressten Hüllrohren) durchgeführt werden, ohne dass die Konstruktion lokal zerstörend geöffnet werden muss.

Eine speziell für das Prüfverfahren programmierte Messsoftware ermöglicht eine erste Einschätzung des Zustands des Bauteils unmittelbar im Anschluss an die Messung. Analytisch mit Rechnerunterstützung folgt die detaillierte Auswertung der Messdaten.

Das Remanenzmagnetismus-Verfahren nutzt die ferromagnetischen Eigenschaften des Spannstahls, um zerstörungsfrei Brüche oder auch Risse in den Spanndrähten zu lokalisieren. Der Spannstahl besitzt infolge des Erdmagnetfelds, der Verwendung von Hubmagneten während der Herstellung oder anderer magnetischer Einflüsse ein undefiniert eingepprägtes

Magnetfeld. Um ein für die Untersuchung notwendiges definiertes Magnetfeld zu erhalten, wird das zu untersuchende Spannglied von der Bauteiloberfläche aus magnetisiert. An Bruchstellen einzelner Spanndrähte treten magnetische Streufelder auf, die vergleichbar sind mit Streufeldern an gebrochenen Stabmagneten (Dipolbildung an der Bruchstelle, siehe Bild 2 links).

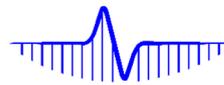


**Bild 2: An der Bruchstelle liegen sich eng benachbart ein magnetischer Nordpol (N) und ein magnetischer Südpol (S) gegenüber (Bild links). Das Messsignal (Bild rechts) zeigt einen charakteristischen Verlauf. Zwischen den beiden Polen (Extremwerten) befindet sich der Wendepunkt des Signalverlaufs der transversalen Komponente, der exakt die Mitte der Bruchstelle anzeigt.**

Nach der Magnetisierung wird die magnetische Flussdichte entlang dem Spanngliedverlauf mit Magnetsensoren (z.B. Hallsonden) an der Betonoberfläche gemessen und aufgezeichnet. Aus diesen Messdaten werden schwarz-weiß-skalierte Magnetbilder generiert, die hinsichtlich der Lage und des Zustands der Spannglieder analysiert werden. Die magnetische Flussdichte setzt sich aus einer transversalen Komponente (rechtwinklig zur Betonoberfläche) und einer axialen Komponente (parallel zur Betonoberfläche in Richtung des Spannglieds) zusammen. Spanndrahtbrüche bzw. mögliche bruchartige Signale verursachen einen charakteristischen Signalverlauf (vgl. Bild 2 rechts), bei dem sich der Bruch an der Stelle befindet, an der die transversale Komponente einen Wendepunkt hat (Dipolbildung, Polwechsel mit Wendepunkt). Diese Polwechsel werden in den Magnetbildern durch einen schwarz-weiß-Wechsel erkennbar. Liegen solche bruchartigen Signale auf der Projektionslinie von Spanngliedern, kann angenommen werden, dass es sich um Bruchsignale handelt. Diese Annahmen werden daraufhin durch eine detaillierte Analyse der zugehörigen Signalverläufe der Spannglieder entsprechend verifiziert.

Die Stärke des Signals gibt Auskunft über die Querschnittsschwächung des Stahls. Keine Hindernisse aber Einflussparameter für das Messergebnis sind:

- die Betondeckung (bis zu 25 cm),
- die Anordnung und der Grad der Stahlbetonbewehrung,
- stählerne Einbauteile,
- metallkaschierte Dichtungsbahnen.



### **3. Die Prüfgeräte des MobiRem-Systems**

Je nach der Art der Konstruktion bzw. je nach dem Verlauf der Spannglieder kommen unsere verschiedenen Messeinheiten des MobiRem-Systems zum Einsatz:

REM 40 (kleine Messeinheit),

REM 150 (mittlere Messeinheit),

REM 350 (große Messeinheit).

Die drei Messeinheiten arbeiten nach dem zuvor beschriebenen Prinzip der Magnetisierung des Spannstahls bis zur Remanenz und der anschließenden Erfassung des magnetischen Streufelds mithilfe von Magnetsensoren.

#### **3.1. REM 40 (kleine Messeinheit)**

Die kleine Messeinheit besteht aus einem kleinen Spezialmagneten und einer Sensoreinheit, mit der weitestgehend sämtliche Spannbetonbauteile des Hochbaus und Hallenbaus untersucht werden können. Um das jeweilige Spannglied magnetisieren zu können, wird der Spezialmagnet über die Betonoberfläche auf der Projektion des jeweiligen Spannglieds geführt. Im Anschluss daran wird die Sensoreinheit über den magnetisierten Bereich geführt und misst dabei das magnetische Streufeld der Spanndrähte bzw. der Spannglieder.

Mit dem REM 40 wurden in den letzten 17 Jahren ca. 70 Messeinsätze an Brückenbauwerken, Parkhäusern, Hallen- bzw. Deckenkonstruktionen und Spannbetontankbehälter durchgeführt.

Um die kleine Messeinheit an die unterschiedlichen Verläufe der Spannglieder anzupassen, können die folgenden Hilfssysteme zum Einsatz kommen:

Fahrbares Führungssystem bei geradlinig verlaufenden und an der Oberseite des Bauteils liegenden Spanngliedern, wie z.B. bei Bodenplatten von Parkdecks oder Dachkonstruktionen von Sporthallen (z.B. VT-Falten).



**Bild 3: Untersuchung von VT-Falten einer Schwimmhalle.**

Gitterträger-Schienensystem mit Längen bis zu 18 m bei geradlinig verlaufenden Spanngliedern in Brückenträgern und Dach- bzw. Deckenbindern. Das Gitterträger-Schienensystem kann sowohl stehend als auch hängend verwendet werden und lässt sich in seiner Höhe justieren. Dadurch können sowohl die in der Unterseite als auch die seitlich im unteren Flansch liegenden Spannglieder abgefahren werden (Beispielbilder auf der folgenden Seite).



**Bild 4: Untersuchung einer Tunneldecke.**



**Bild 5: Untersuchung von Brückenträgern.**



**Bild 6: Untersuchung einer Spannbetonbrücke mit Hilfe einer schwimmenden Plattform.**



**Bild 7: Untersuchung von Spannbetonbindern einer Sporthalle.**



**Bild 8: Untersuchung von doppelt gekrümmten Hyperboloid Schalen (HP-Schalen).**



**Bild 9: Untersuchung von Spanngliedern eines Faulbehälters.**

Hängendes Rohrsystem mit Längen bis zu 18 m bei parabolisch verlaufenden Spanngliedern von z.B. Brückenträgern oder Brückenhohlkästen. Mittels Bohrungen im Träger selbst oder in der darüber liegenden Konstruktion kann das Rohrsystem individuell dem Spanngliedverlauf angepasst werden.

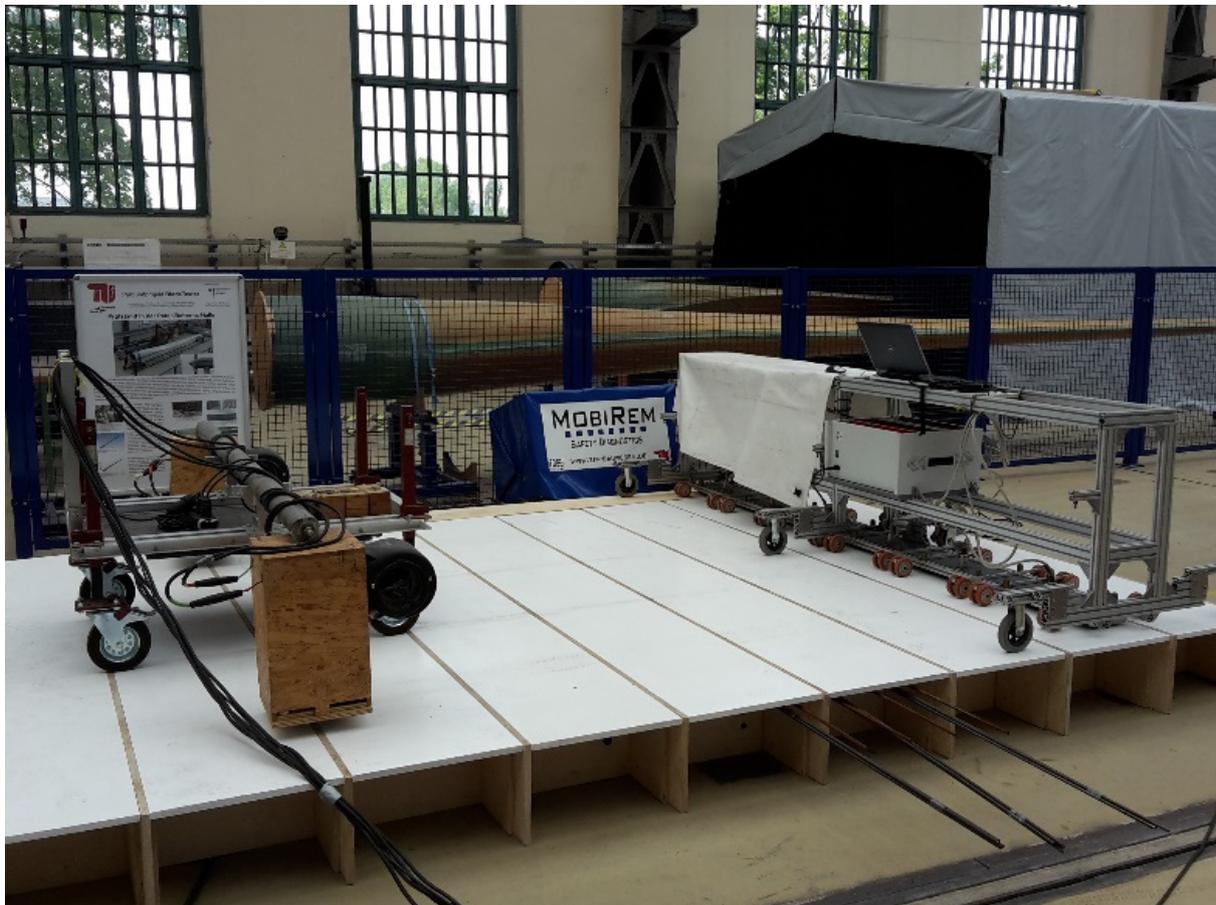


**Bild 10: Untersuchung von Brückenträgern mit parabolisch verlaufenden Spanngliedern.**

### **3.2. REM 150 (mittlere Messeinheit)**

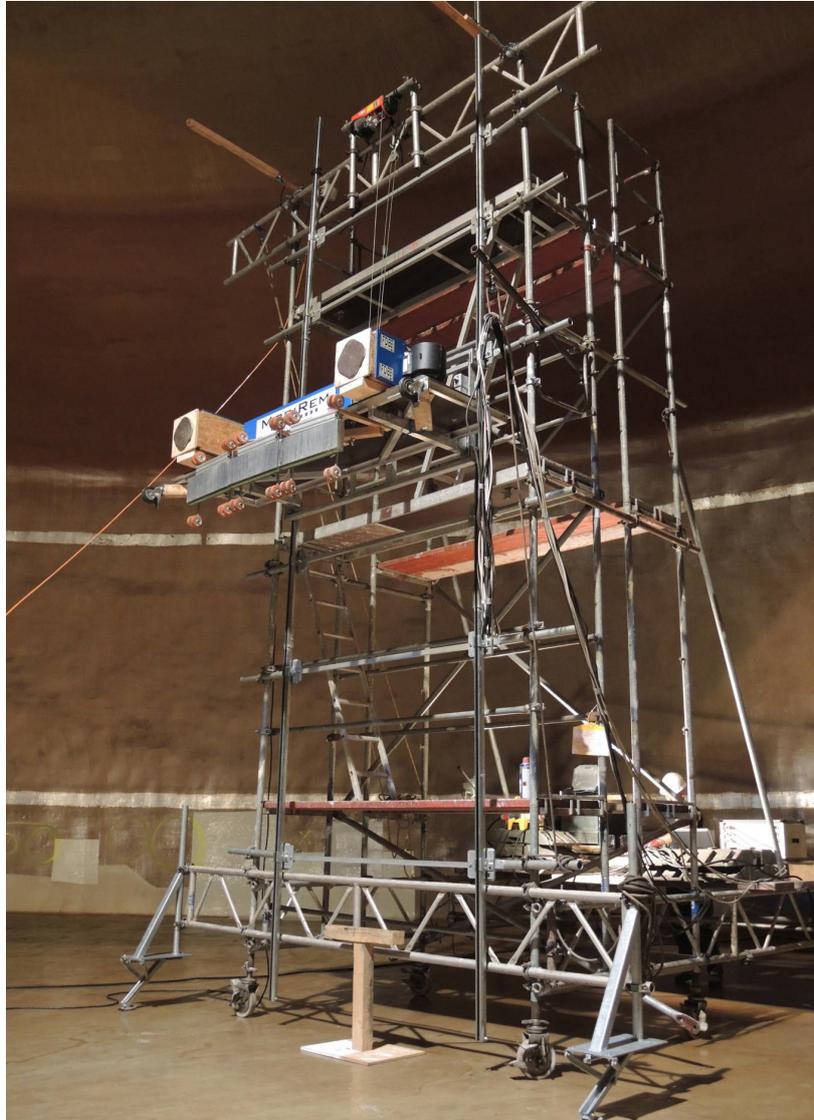
Das REM 150 (Bild 11) basiert auf der Grundlage des REM 350 und besteht aus einem etwa 200 kg schweren Elektromagneten mit angehängter Sensoreinheit. Der Magnet hat eine Breite von 1,50 m und ist auf einer handgeführten Fahreinheit montiert. Die Sensoreinheit misst sowohl im aktiven Magnetfeld als auch im passiven (remanenten) Magnetfeld. Durch das geringere Gewicht im Vergleich zur großen Messeinheit (REM 350) ist der REM 150 sehr wendig und leicht zu handhaben. Dieses qualifiziert ihn besonders für beengte Messsituationen, wie z.B. Bodenplatten in Parkhäusern und schmale Fußgängerbrücken.

Für alle drei Messeinheiten ist eine Prüfplattform (Bild 11) entwickelt worden, die es uns ermöglicht, spezielle Bewehrungsanordnungen sowohl für die Spannglieder als auch für die normale Stahlbetonbewehrung nachzustellen. Die Prüfplattform dient vor allem der Vorbereitung eines Messeinsatzes, kann aber auch auf Wunsch für Präsentationen des Messverfahrens an anderer Stelle aufgebaut werden.



**Bild 11: Testplattform zur Nachstellung individueller Bewehrungsanordnungen sowohl für Spannstahl als auch für Schaffstahl, geeignet für jede der drei Messeinheiten (REM 40, REM 150 und REM 350).**

Für die Untersuchung von vorgespannten Tankbehältern ist für den REM 150 eine Hubplattform konstruiert worden (Bild 12), welche eine vertikale Untersuchung der horizontal verlaufenden Spannglieder in der Wandebene ermöglicht. Wandbereiche mit einer Fläche von bis zu 600 m<sup>2</sup> werden in etwa drei Tagen zerstörungsfrei auf Spannstahlbrüche untersucht.

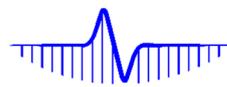


**Bild 12: Untersuchung horizontal verlaufender Spannglieder im Wandbereich vorgespannte Tankbehälter mithilfe einer Hubplattform.**

Mit dem REM 150 wurden etwa 15 Spannbetontankbehälter und zwei Brücken in den letzten Jahren untersucht.

### 3.3. REM 350 (große Messeinheit)

In Deutschland sind fast 70% der Brückenbauwerke an Bundesfernstraßen als Spannbetonkonstruktionen errichtet (Stand 2004). Bedingt durch das damalige Vertrauen in die Spannbetonbauweise bei Autobahnbrücken der 50er bis 70er Jahre sind diese Bauwerke oft mit zu wenig Stahlbetonbewehrung ausgeführt worden. Aus diesem Grund ist die Unversehrtheit des



Spannstahls für die Standsicherheit der Brückenbauwerke so wesentlich, zumal Spannstahlbrüche zu einem Versagen ohne Vorankündigung führen können.

Bei Spannbetonbrückenbauwerken liegen die Querspannglieder mit teilweise geringen Betonüberdeckungen in der Fahrbahnplatte. Der Zustand der Spannglieder ist im Hinblick auf das steigende Verkehrsaufkommen im deutschen Straßen- und Autobahnnetz, auf die verwendete Spannstahlsorte und auf den Einsatz von Tausalzen unter Beobachtung zu halten. Die Anforderungen an Untersuchungsmethoden von Querspanngliedern in Brückenbauwerken sind die Zerstörungsfreiheit, die Schnelligkeit, die geringe Verkehrsbehinderung und die daraus resultierende Wirtschaftlichkeit. Sämtliche Kriterien werden mit der großen Messeinheit (REM 350) erfüllt.

Das REM 350 besteht aus einem regelbaren Elektromagneten, montiert auf einer elektrohydraulisch angetriebenen Fahreinheit und einer angehängten Sensoreinheit. Die Fahreinheit mit dem Elektromagneten hat ein Gewicht von drei Tonnen und eine Breite von 3,50 m. Das REM 350 fährt das Brückenbauwerk in Längsrichtung ab. Während der Überfahrt der quer in der Fahrbahnplatte liegenden Querspannglieder werden diese bis zur Sättigung remanent (bleibend) magnetisiert. Die nachgeführte Sensoreinheit nimmt das magnetische Streufeld der magnetisierten Spannglieder auf. Im Gegensatz zu der REM 40 – Messeinheit ist es hierbei nicht notwendig, die Spannglieder vor der Messung mit anderen zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden zu lokalisieren. Auch eine einmalige Überfahrt ist ausreichend, um die gewünschten magnetischen Informationen der Querspannglieder zu erhalten. Das REM 350 ermöglicht somit eine schnelle und aussagekräftige zerstörungsfreie Prüfung der Querspannglieder in Fahrbahnplatten von Brückenbauwerken. Die Vorteile dieses Messsystems sind im Folgenden zusammengefasst:

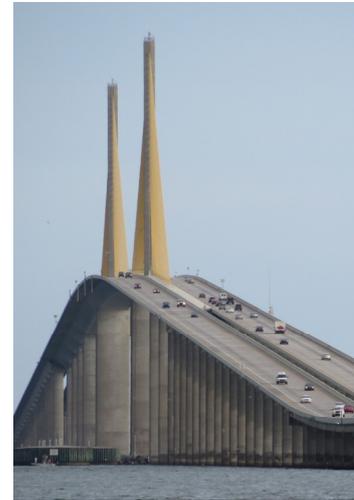
- die Messung kann unabhängig der Oberflächenbeschaffenheit der Brückenfahrbahnplatte durchgeführt werden (Asphaltdeckschicht / abgefräste Betonoberfläche),
- die Breite der Messdatenerfassung der angehängten Sensoreinheit beträgt 3,0 m,
- keine vorhergehende Lageermittlung der Querspannglieder mit z.B. Georadar,
- pro Tag können bis zu 1.200 m einer Fahrspur entsprechend einer Fläche von etwa 3.600 m<sup>2</sup> gemessen werden,
- die Messsoftware ermöglicht eine erste Einschätzung des Zustands unmittelbar im Anschluss an die Messung,
- eine detaillierte Beurteilung der Messdaten erfolgt später durch eine rechnerunterstützte Feinauswertung.

Mit dem REM 350 wurden in den letzten elf Jahren etwa 30 Brückenbauwerke, z.B. die Kochertalbrücke, die Schüpfbachtalbrücke, die Taubertalbrücke und die Sunshine Skyway Bridge (USA/Florida), sowie 3 Parkhäuser untersucht. Das Ergebnis der ausgewerteten Messdaten

spiegelt den tatsächlichen Zustand der Querspannglieder wieder und ermöglicht dem Auftraggeber eine realistische Einschätzung der Tragreserven und der Zuverlässigkeit seines Bauwerks.



(a)



(b)

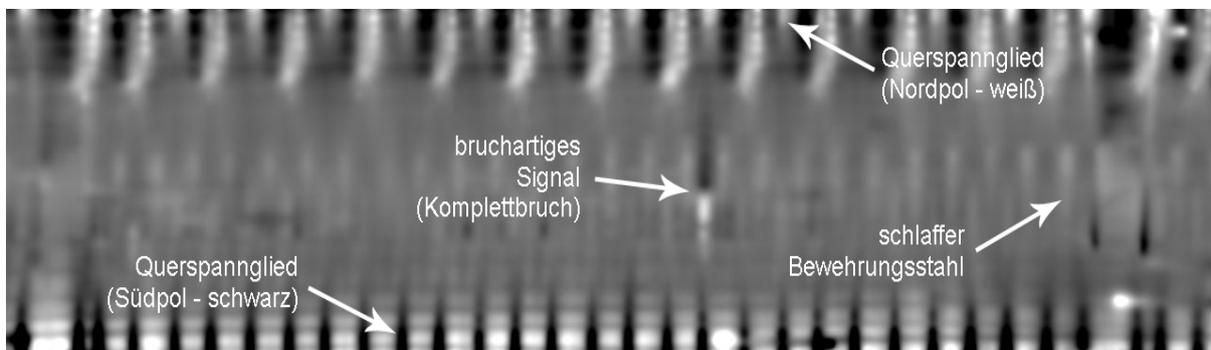
**Bild 13: Autobahnbrücken in Spannbetonbauweise. Untersucht wurden die in der Brückenplatte liegenden Querspannglieder, welche durch die Verwendung von Tausalzen stark korrosionsgefährdet sind (a: Schüpfbachtalbrücke BAB A 81, b: Sunshine Skyway Bridge Florida/USA).**



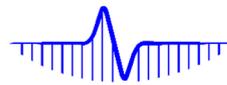
**Bild 14: Untersuchung der Fahrbahnplatte einer Autobahnbrücke in Wolfsburg.**



**Bild 15: Untersuchung der Fahrbahnplatte einer Autobahnbrücke an der BAB A 81.**

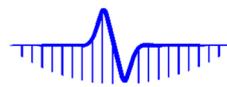


**Bild 16: Ausgewertetes Magnetbild einer Messspur mit dem RM 350 mit Kennzeichnung der Spannglieder und eines bruchartigen Signals.**

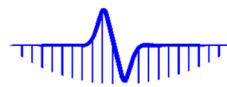


#### 4. Literatur

- 
- [1] Hillemeier, B.: „Das Erkennen von Spanndrahtbrüchen an einbetonierten Spannstählen“, Vortrag ‚Betontag 1993‘, Deutscher Beton-Verein e.V., Wiesbaden, 1993
- 
- [2] Hillemeier, B.: „Assessment of Structural Stability of Prestressed Concrete by Non-Destructive Detection of Steel Fractures“, Proceedings of the International Symposium ‘Non-Destructive Testing in Civil Engineering’ Vol. 1, 23 – 29, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Berlin, 1995
- 
- [3] Scheel, H.; Hillemeier, B.: “The Capacity of the Remanent Magnetism Method to Detect Fractures of Steel in Tendons Embedded in Prestressed Concrete”, Proceedings of the International Symposium ‘Non-Destructive Testing in Civil Engineering’ Vol. 1, 211 – 218, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Berlin, 1995
- 
- [4] Scheel, H.; Hillemeier, B.: “Spannstahlbruchortung an Spannbetonbauteilen mit nachträglichem Verbund unter Ausnutzung des Remanenzmagnetismus”, Dissertation, Technische Universität Berlin, 1997
- 
- [5] Scheel, H.; Hillemeier, B.: „Capacity of the Remanent Magnetism Method to Detect Fractures of Steel in Tendons Embedded in Prestressed Concrete“, NIDT&E International, Vol. 30, No. 4, 211 – 216, Elsevier Science Ltd., 1997
- 
- [6] Hillemeier, B.; Scheel, H.: “Magnetische Ortung von Spanndrahtbrüchen in Spannbeton”, Materials and Corrosion 49, 799 – 804, 1998
- 
- [7] Sawade, G.: „Anwendung der Methode der magnetischen Streufeldmessung zur Ortung von Spannstahlbrüchen“, DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose, Berichtsband BB 66-CD, München, 1999
- 
- [8] Szielasko, K.; Kloster, A.; Dobmann, G.; Scheel, H.; Hillemeier, B.: „High-Speed, High-Resolution Magnetic Flux Leakage Inspection of Large Flat Surfaces“, European Conference on Nondestructive Testing, Berlin 2006
- 
- [9] Hillemeier, B.; Walther, A.; Pak, C.: „Fast Non-Destructive Localization of Prestressing Steel Fractures in Post-Tensioned Concrete Bridges“, in “2008 Accelerated Bridge Construction – Highway for Life”, Conference, S. 409 – 410, Baltimore – Maryland, 2008
- 
- [10] Hillemeier, B.; Walther, A.: “Schnelle und großflächige Bauzustandserfassung an Spannbetonbrücken, Estrichen und Deckensystemen“, DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose, Berichtsband BB 112-CD, Berlin, 2008
- 
- [11] Taffe, A.; Hillemeier, B.; Walther, A.: „Condition Assessment of a 45-year old prestressed concrete bridge using NDT and verification of the results“, NDE/NDT for Highway and Bridges: Structural Materials Technology (SMT), 16-20 August, New York, 2010
- 
- [12] Taffe, A.; Hillemeier, B.; Walther, A.: „Verifizierung moderner zerstörungsfreier Prüfverfahren an einem Abbruchbauwerk“, Beton- und Stahlbetonbau 105, Heft 12, S. 813 – 820, 2010
-



- 
- [13] Pak, C.: "Optimierung des Remanenzmagnetismus-Verfahrens zur Stahlbruchortung in Bauwerken – Theoretische Weiterentwicklung", Dissertation, Technische Universität Berlin, 2010
- 
- [14] Lawrence, J.; Pessiki, S.; Naito, C.; Hodgson, I.: "Inspection Methods & Techniques to Determine Non Visible Corrosion of Prestressing Strands in Concrete Bridge Components", ATLSS Report No. 09-09, veröffentlicht in der TRID Database, 2011
- 
- [15] Hillemeier, B.; Flohrer, C.; et al.: „Instandsetzung und Erhaltung von Betontragwerken“, Beton Kalender, S. 350 – 351, 2011
- 
- [16] Hillemeier, B.; Taffe, A.: „Aktuelle Regelwerke der Bauwerksdiagnostik“, Bauphysik Kalender – Gebäuediagnostik, S. 57 – 101, 2012
- 
- [17] Walther, A.; Hasenstab, A.: „Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau“, Bauphysik Kalender – Gebäuediagnostik, S. 189 – 191, 2012
- 
- [18] Hillemeier, B.; Pak, C.: „Magnetic localization of fractures of broken wires in prestressing cables of bridges and parking decks“, 6<sup>th</sup> International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, 8. – 12. July, S. 502, Stresa (Italien), 2012
- 
- [19] Knapp, S.; Hillemeier, B.: "Application of line scanner in remanent and active field compared with the big magnet impulse magnetization", 6<sup>th</sup> International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, 8. – 12. July, S. 503, Stresa (Italien), 2012
- 
- [20] Walther, A.: „Vergleichende Signalinterpretation von Spannstahlbrüchen im remanenten und aktiven magnetischen Streufeld“, Dissertation, Technische Universität Berlin, 2012
- 
- [21] Hillemeier, B.; Knapp, S.: „Cable break detection in pre-stressed bridges, parking decks and girders“, 5<sup>th</sup> International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, 2. – 4. September, S. 795, Kapstadt (Südafrika), 2013
- 
- [22] Knapp, S.; Hillemeier, B.: "Zerstörungsfreie Prüfung von Spanngliedern in Brückenbauwerken mit der magnetischen Streufeldmessung", 3. Brückenkolloquium – Beurteilung, Ertüchtigung und Instandsetzung von Brücken, 19. – 20. Juni, S. 283, TAE Technische Akademie Esslingen, 2018
- 
- [23] Knapp, S.: „Zerstörungsfreie Prüfung von Spanngliedern in Spannbetonbauwerken mit dem Remanenzmagnetismus-Verfahren“, Betoninstandsetzungstag 2019, 15. Mai, Weiterbildungszentrum TFB AG, Wildegg (Schweiz), 2019
-



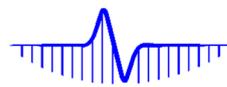
## 5. Referenzen

### Brücken:

---

2002	Fuldatal Brücke; Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV)
2003	Spandauer Damm Brücke, Berlin; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin
2004	Autobahnbrücke Bismarckstraße, Leverkusen
2006	Mörschbrücke, Berlin; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin
2007	Eisenbrücke, Berlin; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin
2007	Lahntalbrücke, Wetzlar Ost; Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung (HSVV)
2008	Husberg Brücke, Werdohl; Stadtverwaltung Werdohl
2008	Spandauer Damm Brücke, Berlin; BAST, Bergisch Gladbach
2008	Champlain Bridge, Montreal – Kanada; Vector Corrosion Technology
2008	Fußgängerbrücke KaDeWe, Berlin; Karstadt AG
2009	Champlain Bridge, Montreal – Kanada; Vector Corrosion Technology
2009	Hannoversche Brücke und Hohenfelder Brücke, Hamburg; Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer Hamburg
2009	Talbrücke Utrichshausen BAB A 7, Fulda; Hochtief Construction Materials AG
2009	Talbrücken Lützelbach und Marbach, BAB A 45; Hochtief Construction Materials AG
2010	Talbrücke Utrichshausen BAB A 7, Fulda; Hochtief Construction Materials AG
2010	Jubilee Overpass (Straßenbrücke), Winnipeg – Kanada; Vector Corrosion Technology
2011	Lahntalbrücke Dorlar BAB A 45, Wetzlar; Hochtief Construction Materials AG
2011	Taubertalbrücke BAB A 81, Tauberbischofsheim; Leonhard Weiss GmbH & Co. KG
2012	Autobahnbrücke BAB A 81 bei Eubigheim, Abschnitt AS 4 Ahorn – AS 5 Boxberg; Englert Ingenieurbüro
2012	Straßenbrücke auf der Bundesstraße 6, Hildesheim; Hochtief Construction Materials AG

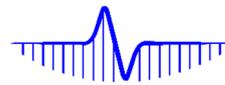
---



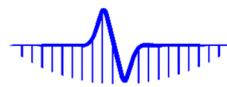
---

2012	Taubertalbrücke BAB A 81, Tauberbischofsheim; Leonhard Weiss GmbH & Co. KG
2012	Talbachtalbrücke BAB A 81, Engen; Bilfinger Berger SE
2013	Kochertalbrücke BAB A 6, Geislingen; Leonhard Weiss GmbH & Co. KG
2013	Aichtalbrücke B 312, Neckartailfingen; EUROVIA Beton GmbH
2014	Hanns-Martin-Schleyer-Brücke, Esslingen bei Stuttgart; Leonhardt, Andrä und Partner (LAP)
2014	Kochertalbrücke BAB A 6, Geislingen; Leonhard Weiss GmbH & Co. KG
2015	Sunshine Skyway Bridge, Florida – St. Petersburg (USA); Vector Corrosion Services, Florida Department of Transportation (FDOT)
2015	Straßenbrücke über das Schweinitzer Fließ (B 187), Schweinitz – Wittenberg; Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt (Zentrale, FG 234)
2015	Schüpfbachtalbrücke BAB A 81 – Teilbauwerk 2, Lauda-Königshofen; Ed. Züblin AG (Direktion Stuttgart – Bereich Bauwerkserhaltung)
2016	Schüpfbachtalbrücke BAB A 81 – Teilbauwerk 1, Lauda-Königshofen; Ed. Züblin AG (Direktion Stuttgart – Bereich Bauwerkserhaltung)
2016	Donaubrücke an der B 20, Straubing; Staatliches Bauamt Passau
2016	Huntebrücke BAB A 29, Oldenburg; BauConsulting Dr. Walther GmbH & Co. KG
2016	Straßenbrücke Haar über den Küstenkanal, Dörpen; Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Meppen
2017	Talbrücke Volmarstein BAB A 1, Hagen; DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
2018	Wöhlertalbrücke BAB A 7, Hildesheim; Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (Geschäftsbereich Gandersheim)
2018	Autobahnbrücke über die Kreisstraße K 306 BAB A 7, bei Hildesheim; Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (Geschäftsbereich Gandersheim)
2018	Autobahnbrücke BAB A 29 (Unterführung der L815), bei Wilhelmshaven; Lindschulte + Schulze Ingenieurgesellschaft mbH
2019	Kochertalbrücke BAB A 81; bei Neuenstadt am Kocher; DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
2020	Autobahnbrücke an der BAB A 39, Wolfsburg; Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (Geschäftsbereich Wolfenbüttel)
2020	Bahnbrücke an der B 13, Triesdorf; Staatliches Bauamt Ansbach

---



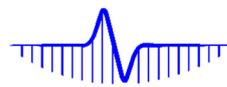
- 
- |      |  |
|------|--|
| 2021 | Hochstraße Weidetor, Hannover, Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (Geschäftsbereich Hannover) |
|------|--|
- 
- |      |   |
|------|---|
| 2021 | Talbrücke Utrichshausen BAB A 7, Fulda, DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH |
|------|---|
- 
- |      |  |
|------|--|
| 2021 | Autobahnbrücke an der BAB A 27 (Anschlussstelle Wulsdorf), Bremerhaven, Die Autobahn GmbH des Bundes (Niederlassung Nordwest / Außenstelle Verden) |
|------|--|
- 
- |           |  |
|-----------|--|
| 2021      | Eisenbahnüberführung St.-Martin-Straße, Garmisch-Partenkirchen, DB Netz AG – |
| +<br>2022 | Regionalbereich Süd  |
-

Gebäude:

---

1998 - 2005	in zeitlichen Intervallen Untersuchungen von Dachbindern in Traunreut (Oberbayern) BSH GmbH
2001	Hallendachträger der Privatkäserei Bergader, Waging
2003	Untersuchungen Sicherheitsumschließung, KKW Gundremmingen
2004	Henry Ford Bau, FU Berlin; GSE Ingenieurgesellschaft mbH Saar, Enseleit und Partner
2005	VT-Falten einer Dachkonstruktion, OKZ Berlin-Mahrzahn; Land Berlin
2007	Spannbetonfertigteilebinder Stadtbad Rheydt, Mönchengladbach; NVV AG
2007	VT-Falten einer Sporthallendachkonstruktion, Grundschule Berlin-Mitte; Leonhardt, Andrä und Partner (Zweigstelle Berlin)
2007	Spannbetonfertigteilebinder, Renolit Werke, Worms; Renolit AG
2008	Spannbetonfertigteilebinder, Parkhaus Bahnhof Neumünster; Dywidag AG
2008	Parkdeck Dixi Road, Delta Hotel, Toronto (Kanada); Vector Corrosion Technology
2008	Spannbetonfertigteilebinder, Freizeitbad Panoramablick Eschenburg; Hochtief Construction Materials AG
seit 2009	Tankbehälteruntersuchung, Cunnersdorf, Thüringen und Medewitz; TABEG Tanklagerbetriebsgesellschaft mbH
2009	Parkdeck Foxhall Square, Washington D.C. - USA; Vector Corrosion Technology
2009	Parkdeck Monongahela Valley Hospital, USA; Vector Corrosion Technology
2010	Spannbetondachträger, Stadtbad Rheydt, Mönchengladbach; NVV AG
2011	HP-Schalen Spannbetondachkonstruktion einer Mehrzweckhalle, München-Neuried; Schießl, Gehlen, Sodeikat GmbH
2011	Spannbetondachträger, Stadtbad Rheydt, Mönchengladbach; NVV AG
2012	Hallendachträger, Klärwerk Münchehofe; BARG Baustofflabor GmbH & Co. KG
2012	Spannbetondeckenträger der Privatkäserei Bergader; Waging
2013	Tunneldeckenträger im Altstadtringtunnel München; Baureferat Ingenieurbau BAU J 124 (München)

---



---

2014	Spannbetonfertigteilebinder im Meerwasserbad „Grömitzer Welle“, Grömitz; Bau-Consulting Dr. Walther GmbH & Co. KG
2014	Spannbetonfertigteilebinder im Bürogebäude „Walton Court“, London - England; Hochtief Engineering GmbH
2015	VT-Falten einer Schwimmhallendachkonstruktion, Bundeswehrstandort Fliegerhorst Holzdorf; BauConsulting Dr. Walther GmbH & Co. KG
2015	Spannbetondachträger (Wiederholungsprüfung nach 5 Jahren), Stadtbad Rheydt; Mönchengladbach; NEW AG
2015	Spannbetonbinder im Neubau „Neue Leitstelle“ der Feuerwehr, Karlsruhe; Hochbauamt der Stadt Karlsruhe
2016	HP-Schalen einer Schwimmhallendachkonstruktion, Bundespolizeiakademie Lübeck; KSK Ingenieure
2017	Spannbetonfertigteilebinder einer Produktionshalle, Worms; Renolit SE
2017	Spannbetontankbehälter der SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Wittenberg; IGU Ingenieur- & Sachverständigen-gesellschaft Ubbelohde mbH
2018	Spannbetondachkonstruktion eines Kongresshauses, Biel (Schweiz); TFB AG
2018	VT-Falten der Dachkonstruktion des Schwimmbads „Rollibad“, Haldensleben; Stadtwerke Haldensleben GmbH
2019	Spannbetondeckenkonstruktion über dem Prätorium (Spanischer Bau) am Rathaus Köln, Köln; Stadt Köln - Gebäudewirtschaft
2020	HP-Schalen der Dachkonstruktion einer Produktionshalle, Bad Aibling; Wendelstein Käsewerk GmbH (Bergader Käserei)
2020	Faulbehälter eines Klärwerks, Köhlbrandthöft-Hamburg; Hamburger Stadtentwässerung AöR
2020	Spannbetonbinder einer Sporthalle, IGMH Mannheim-Herzogenried; BBS Bau- und Betriebsservice GmbH
2020	Spannbetonbinder einer Schwimmhalle, Bad Segeberg; Stadt Bad Segeberg, Amt für Bauen und Umwelt
2021	Spannbeton-Pi-Platten des Stadtringcenters Neukölln, Berlin, AEdicula Stadtringcenter Neukölln GmbH
2021	Spannbeton-T-Balken des Parkhauses der FU Berlin, Berlin, BARG Baustofflabor GmbH & Co. KG
2021	Spannbetondeckenkonstruktion über dem Prätorium (Spanischer Bau) am Rathaus Köln, Köln; Stadt Köln - Gebäudewirtschaft

---