

Schnelle zerstörungsfreie Ortung von Spannstahlrissen in Querspanngliedern von Spannbetonbrücken

Bernd HILLEMEIER, Andrei WALTHER, TU Berlin, Institut für Bauingenieurwesen, Fachgebiet Baustoffe und Baustoffprüfung, Berlin

Kurzfassung: Brückenbauwerke in aller Welt sind Tag und Nacht einer ständig steigenden Verkehrslast ausgesetzt. Die Altersstruktur, die Belastungssituation und der Zustand der Brücken sind unterschiedlich. Korrosionsschäden an der Bewehrung von Brückenbauwerken sind von außen nicht sichtbar. Mehr als 20.000 Brücken in Deutschland bestehen aus Spannbeton. Deren Haltbarkeit hängt in hohem Maße von den Spanndrähten ab, die sich im Innern der Brücke befinden. Die Technische Universität Berlin, Fachgebiet Baustoffe und Baustoffprüfung, hat ein mobiles Magnetmesssystem entwickelt, bei dem während der Fahrt das Innere der Brücke überprüft, also der Zustand der unsichtbaren Spanndrähte analysiert wird. Dazu muss weder die Brücke geöffnet noch der Fahrbahnbelag entfernt werden. Ein Magnetwagen fährt in Schrittgeschwindigkeit über die Brücke. Ein mitfahrender Rotationssensor erkennt, ob die im Innern des Betons liegenden Querspanndrähte frei von Drahtbrüchen sind. Das Verfahren bewirkt eine definierte Magnetisierung der Spanndrähte und macht diese zu langen Magneten mit Nord- und Südpol an den Enden. Eine Bruchstelle im Spannglied schafft zwei neue Enden, somit Nord- und Südpol direkt nebeneinander. Der mitfahrende Rotationssensor misst den magnetischen Streufluss von außen durch Hallsensoren, erkennt damit alle magnetischen Nord-Süd Polwechsel an vorhandenen Bruchstellen und speichert sie in einem Rechner. Da die Überprüfung der Brücken mit dem Magnetmesssystem nachts erfolgen kann, wird der Straßenverkehr kaum gestört. Das System ist außerdem so ausgelegt, dass nur eine Fahrspur gesperrt werden muss und somit der Verkehr über die Brücke geregelt weiterrollen kann. Durch die Auswertung der Daten kann der Zustand der Querspannglieder analysiert werden und anschließend die Baufähigkeit einer Brücke eingeschätzt werden.

1. Einleitung

Die Verkehrslast auf unseren Straßen nimmt ständig zu. Nicht nur in der Höhe der Last pro LKW, sondern auch in der Häufigkeit (Abb. 1). Durch diese Belastungssituation sind auf Brückenbauwerke besonders hohe Anforderungen in Bezug auf Dauerhaftigkeit und Qualität zu stellen. Die Überprüfung auf diese Anforderungen sind in Deutschland durch die DIN 1076 genormt. Um eine einheitliche Regelung in Bezug auf Zustand und Schäden zu erhalten, wurde in Deutschland die Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 (RI-EBW-Prüf) eingeführt. Dadurch ist eine deutschlandweite Benotung des Brückenzustandes möglich. Nach neuester Erhebung vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen bekam eine Vielzahl von Spannbetonbrücken schlechte Zustandsnoten (Abb. 2). Unberücksichtigt in der Benotung ist die Bewertung des Spanndrahtes auf Brüche, da ein geeignetes Diagnoseverfahren bisher nicht vorhanden gewesen ist.

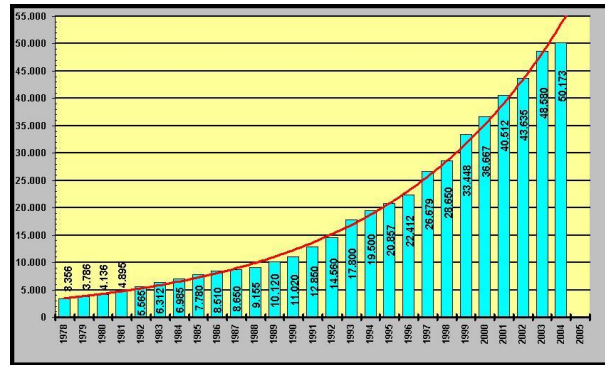


Abb. 1: Großraum- und Schwerverkehr (Autobahndirektion Nordbayern) [BMVBS]

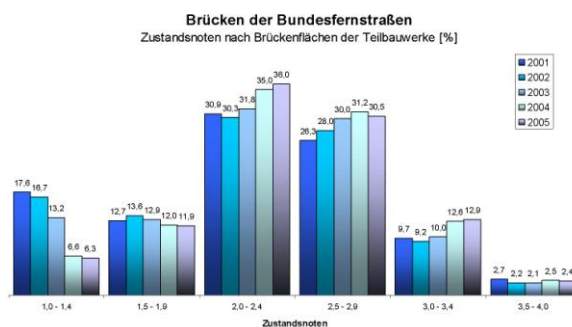


Abb. 2: Entwicklung der Zustandsnoten für Brückenbauwerke von 2001 bis 2005 [BMVBS]

1.1 Notwendigkeit der Spanndrahtbruchortung

Der aus Gründen der Verkehrssicherheit bis heute unumgängliche Einsatz von Tausalz kann zu gravierenden Korrosionsschäden an der Bewehrung von Brückenbauwerken führen. Besonders betroffen von dieser Korrosionsgefahr sind Querspannglieder in Brückenplatten. Eine erforderliche Überprüfung von Querspanngliedern der Fahrbahnplatte einer Brücke lässt sich häufig dennoch nicht durchführen, weil der Verkehr nicht über den erforderlichen Zeitraum umgeleitet werden kann. Ziel der hier geschilderten Geräteentwicklung war es, das magnetische Streufeldverfahren zur Ortung von Spanndrahtbrüchen [1], [2] mit einer Messgeschwindigkeit anwenden zu können, die es erlaubt, eine komplette Brückentafel in einer Nacht messtechnisch erfassen zu können, um so die Behinderung des Verkehrs weitestgehend zu vermeiden. Für die Untersuchung der meisten Brücken wäre es inzwischen ausreichend, den Verkehr während verkehrsarmer Zeiten durch Sperrung einzelner Fahrspuren einzuschränken, um die Querspannglieder auf Spanndrahtbrüche zu untersuchen.

2. Physikalische Prinzip des Verfahrens

Das Verfahren der magnetischen Spanndrahtbruchortung beruht auf dem Effekt, dass sich an der Bruchstelle eines magnetisierten Körpers eine Dipolverteilung ausAbb.et. Das magnetische Streufeld an der Bruchstelle eines magnetisierten Spanndrahts gleicht dem an der Bruchstelle eines Stabmagneten (Abb. 3). Betrachtet man die transversale Komponente der magnetischen Flussdichte (orthogonal zum Spannglied gerichtet) an der Betonoberfläche, so zeigt sich an Bruchstellen einzelner Spanndrähte eines Spannglieds ein charakteristisches Bruchsignal.

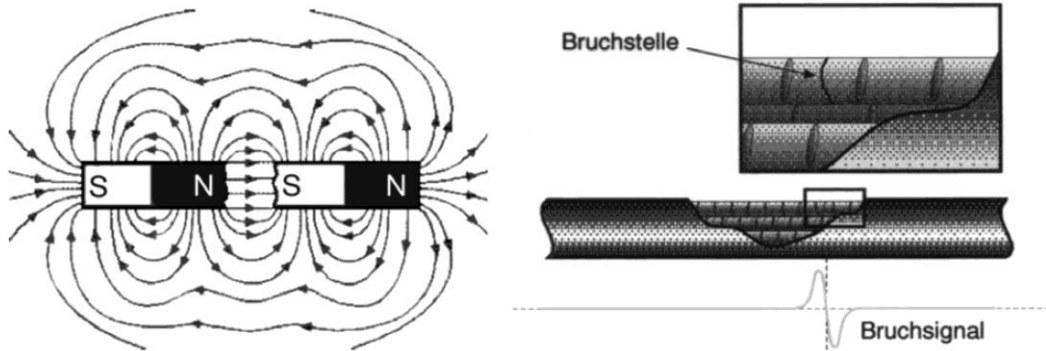


Abb. 3: Von einem magnetisierten Spanndraht geht ein magnetisches Feld aus, das dem eines Stabmagneten gleicht. An einer Bruchstelle formt sich ein zusätzliches Polpaar (Dipol), das ein magnetisches Streufeld hervorruft (links). Die transversale Komponente des Streufelds an einem Spanndrahtbruch zeigt das rechte Abb.. Von diesem Bruchsignal wird auf Bruchstellen geschlossen.

3. Das magnetische Streufeldverfahren im Bauwesen

Das magnetische Streufeldverfahren wird seit über 80 Jahren in der Werkstoffprüfung wissenschaftlich genutzt. Im Bauwesen nutzt man es zur Ortung von Spanndrahtbrüchen seit Anfang der Achtzigerjahre in den USA [3] und seit Ende der Achtzigerjahre auch in Deutschland zu diesem Zwecke. Anfänglich konnte das Verfahren nur bei Spannbeton mit direktem Verbund eingesetzt werden [4]. In den Neunzigerjahren wurde das Verfahren von zwei Arbeitsgruppen unabhängig voneinander für die Anwendung auf Spannbeton mit nachträglichem Verbund weiterentwickelt. Seit Mitte der Neunzigerjahre kann das Verfahren auf praktisch alle Spannbetonbauteile bei verschiedenen Randbedingungen angewandt werden [5], [6]. Der Messablauf war unabhängig von der Art des untersuchten Bauteils stets gleich: Das Spannglied musste, bis es bis remanent aufmagnetisiert war, mehrmals von einem elektromagnetischen Jochmagneten entlang seiner Projektionslinie auf der Betonoberfläche „überfahren“ werden. Nach den einzelnen Magnetisierungsschritten wurde die magnetische Flussdichte mit magnetischen Sensoren (z. B. Hallsonden) entlang dieser Projektionslinie gemessen (Abb. 5).



Abb. 5: Messung des Streufeldes einer Brückenplatte in den Neunziger Jahren [TU Berlin, Fachgebiet Baustoffe und Baustoffprüfung]

Dieser Messvorgang ist recht zeitaufwendig und lässt sich nach heutigem Kenntnisstand nur durch den Einsatz eines größeren Magneten und den Einsatz von magnetischen Sensoren, die größere Flächen überstreichen, beschleunigen. Müssen Magnet und Sensorik seitlich oder unterhalb des Bauteils an diesem entlang geführt werden, stößt man bei dem Wunsch nach größeren und damit effizienteren Geräten schnell an Grenzen. Erstens ist die Zugänglichkeit zu den Bauteilen häufig eingeschränkt, zweitens ist die Masse des Magneten, der für derartige Messungen eingesetzt wird, bereits so groß, dass jede weitere Massenzunahme die Handhabbarkeit stark einschränken würde. Anders verhält es sich bei der Messung von der Oberseite eines Bauteils, wie sie bei der Überprüfung von Querspanngliedern in Brückenplatten durchgeführt wird. In einem solchen Fall war es prinzipiell möglich, selbstfahrende Magneten mit einer Masse im Tonnenbereich einzusetzen.

4. Entwicklung der schnellen Spanndrahtbruchortung in Querspanngliedern

4.1 Magnetwagen

Durch die Kenntniss, dass durch eine Vergrößerung der Magneten eine Verbesserung des Verfahrens der Streufeldmessung möglich ist, war schnell der Wunsch geboren, einen Magnetwagen zu bauen, der die Querspannglieder einer kompletten Brückentafel aufmagnetisieren kann (Abb. 6).

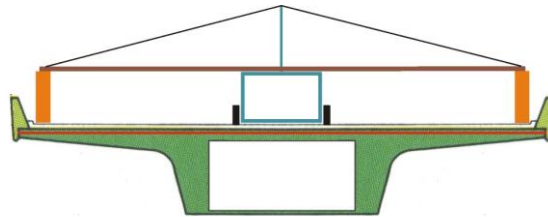


Abb. 6: Ideenskizze zur Magnetisierung von Querspanngliedern in Brückenplatten

Diese Idee konnte nicht realisiert werden, da

1. Das Gewicht des Magnetwagens zu groß gewesen wäre,
2. Spannstahl magnetisch hart und somit schwer aufmagnetisierbar ist.

Durch jahrelange Versuche wurde untersucht, wie die längenmäßige Abmessung eines Magnetwagens für Brückenplatten dimensioniert werden kann. Letztendlich wurde ein elektromagnetischer Jochmagnet mit einem Jochabstand von 3,50 m verwirklicht. Dieser Magnet wurde in einen Wagen mit elektrohydraulischem Antrieb integriert (Abb. 7). Dieser Magnetwagen kann entlang der Fahrspur einer Brückenplatten fahren und durch die Überführung der senkrecht dazu liegenden Querspannglieder diese aufmagnetisieren. Der Magnetwagen fährt dabei in einer kontinuierlichen Geschwindigkeit, die zwischen 1 bis 5 km/h wählbar ist.



Abb. 7: Der elektromagnetische Jochmagnet, integriert im Fahrzeug mit elektrohydraulischem Antrieb [Firma HFB Fahrzeugbau & Service GmbH Müncheberg]

4.2 Sensorik

Um das magnetische Streufeld der aufmagnetisierten Querspannglieder messen zu können sind Sensoren (z. B. Hallsensoren) notwendig. Da der elektromagnetische Jochmagnet einen Jochabstand von 3,50 m aufweist, war es der Wunsch, in dieser Breite und auch während der kontinuierlichen Fahrt des Magneten das Feld „abzurastern“. Eine erste Idee mit einer Aufrei-

hung von 256 Hallsensoren auf der Breite von 3,50 m konnte nicht verwirklicht werden, da ein Abgleich zwischen den Sensoren, um eine einheitliche Messkurve zu erhalten, nicht möglich ist. Das IZFP Saarbrücken entwickelte daraufhin eine Sensoreinheit, die als Anhänger am Magnetwagen angeordnet ist. Diese Sensoreinheit besteht aus einem Rotationsarm, an dessen Spitzen Hallsensoren integriert sind (Abb. 8).

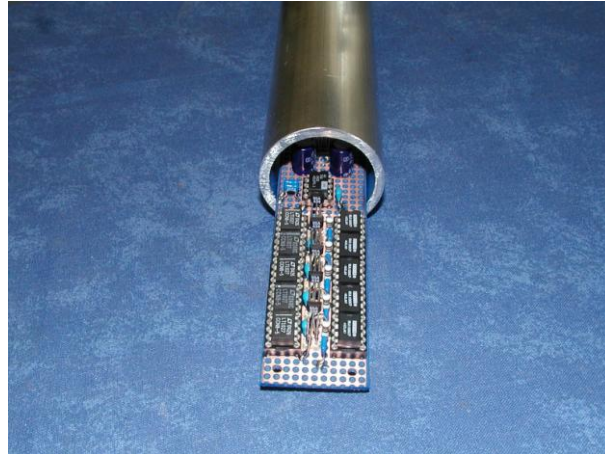


Abb. 8: Sensoreinheit am Rotationsarm

Durch eine Rotationsbewegung und die kontinuierlichen Vorwärtsbewegung der gesamten Einheit ist eine Erfassung des magnetischen Streufeldes möglich [7].

5. Ergebnisse

Der Magnetwagen wurde bereits praxiserprobt und die Messergebnisse sind in [8] veröffentlicht. Zu dem Zeitpunkt der Erprobung war die Sensoreinheit noch nicht fertiggestellt. Daher wurde zu diesem Zeitpunkt ein konventioneller Messwagen zur Erfassung des Streufeldes genutzt. Zweifelsfrei wurde ein Spanndrahtbruch erkannt und der Magnetwagen bewies seine Leistungsfähigkeit.

Die Sensorik wurde bisher unter Laborbedingungen getestet. Zu diesem Zweck wurde an der TU Berlin ein Messfeld zur Spanndrahtbruchortung aufgebaut (Abb. 9).

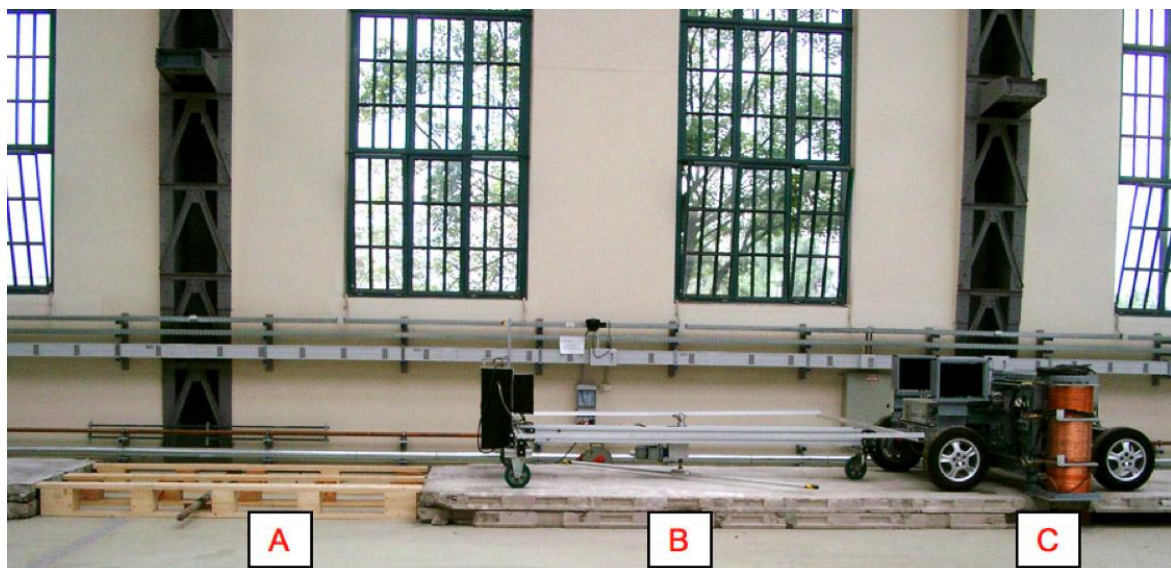


Abb. 9: Versuchsfeld (A) mit Rotationsscanner (B) und Magnetwagen (C)

Erste Messungen an einem in das Versuchsfeld eingebauten echten Spannglied zeigten, dass Brüche im Spannglied zweifelsfrei erkannt werden. Im Versuch hatte das Spannglied einen Abstand von 12 cm zur Oberkante der Rollfläche. Das Spannglied bestand aus 12 Litzen, wobei die Hälfte davon zertrennt wurden (Abb. 10).

Durch die messtechnische Erfassung der magnetische Streuung des gesamten Feldes kann in einem ersten Schritt eine drei dimensionale Grafik des Streufeldes erzeugt werden (Abb. 11). Die erzeugten Messdaten werden in einem zweiten Schritt mathematisch bearbeitet, so dass auch die Anzahl der Litzenbrüche in den Spanngliedern ermittelt werden kann.



Abb. 10: Messaufbau an der TU Berlin

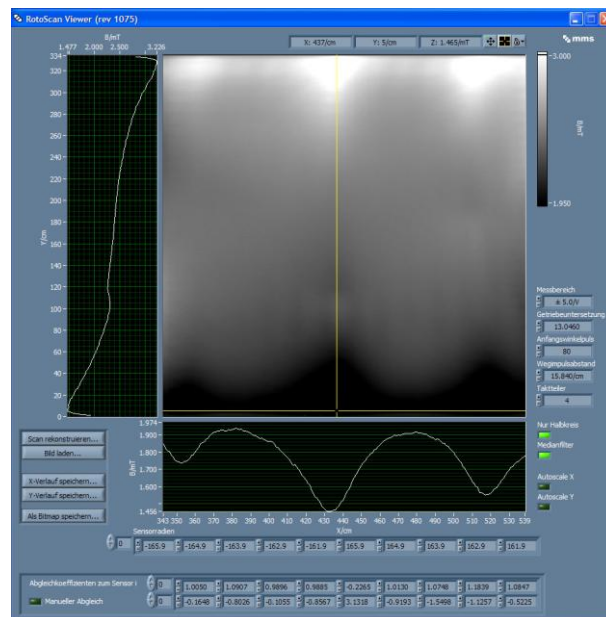


Abb. 11: Messergebnis Versuchsfeld, links ist im Diagramm der Verteilung der Magnetische Flußdichte bei $y = 110$ cm der Bereich mit Polwechsel infolge Trennung des halben Hüllrohrquerschnittes erkennbar.

Die Magnetisierungs- und Messgeschwindigkeit beträgt bis zu 500 m/h, wobei die magnetische Flussdichte an der Betonoberfläche der Brückenplatte in einem Raster von weniger als 1 cm x 1 cm gescannt wird. Bei einem Spanngliedabstand von beispielsweise 40 cm können also bis zu 1250 Spanngliedabschnitte in einer Stunde messtechnisch erfasst werden. Eine vorangehende Lageermittlung der Spannglieder mit Georadar ist nicht erforderlich. Die Einschätzung welche Grenzen das Verfahren z. B. bei der Erkennung der Anzahl der gebrochenen Litzen oder bei sehr tief liegenden Lagen der Spannstahlbewehrung hat, ist Gegenstand laufender Forschungen am Fachgebiet Baustoffe und Baustoffprüfung an der TU Berlin.

Danksagung

Die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Referat X O hat dieses Forschungsvorhaben langjährig gefördert. Herr Dipl.-Ing. W. Kollotschek und seinen Mitarbeitern sowie Herrn Dipl.-Ing. P. Weyer danken wir sehr herzlich für die angenehme und vertrauensvolle Zusammenarbeit. Herrn Herzfeld und Herrn Dipl.-Ing. Wegner von der Fa. HFB- Fahrzeugbau & Service GmbH, Müncheberg, sowie Herrn Dipl.-Ing. A. Kloster und Herrn Dipl.-Ing. K. Szielasko vom IZFP, Saarbrücken, danken wir für die anregende und unkomplizierte Zusammenarbeit bei der Konstruktion und Herstellung von Magnetwagen bzw. Sensoreinheit. Gedankt sei auch Herrn Dr.-Ing. H. Scheel für seine langjährige Mitarbeit bei dem Projekt an der TU Berlin.

Literatur

- [1] Scheel, H.; Hillemeier B. (2003), Location of Prestressing Steel Fractures in Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 30, No. 3, pp. 228-234
- [2] Scheel, H., (1997), Spannstahlbruchortung an Spannbetonbauteilen mit nachträglichem Verbund unter Ausnutzung des Remanenzmagnetismus, Dissertation, Technische Universität Berlin
- [3] Kusenberger, F. N.; Barton, J. R. (1981), Detection of Flaws in Reinforcing Steel in Prestressed Concrete Bridge Members, Report No. FHWA/RD-81/087, FHWA U. S. Department of Transportation
- [4] Flohrer, C. (1990), Zerstörungsfreie Ortung von Spanndrahtbrüchen in Spannbeton-Deckenträgern, VDI-Berichte 1990, S. 425-433
- [5] Scheel, H.; Hillemeier, B., (1995), The Capacity of the Remanent Magnetism Method to Detect Fractures of Steel in Tendons Embedded in Prestressed Concrete, Vol. 1 of the International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE). Ed. by G. Schickert, H. Wiggenhauser, Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e. V., p. 211 – 218
- [6] Sawade, G. et al. (1995), Signal Analysis Methods for the Remote Magnetic Examination of Prestressed Elements, Vol. 2 of the International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE). Ed. by G. Schickert, H. Wiggenhauser, Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e. V., p. 1077 - 1084– 218
- [7] K. Szielasko, A. Kloster, G. D Dobmann, H. Scheel, B. Hillemeier (2006), High-Speed, High-Resolution Magnetic Flux Leakage Inspection of Large Flat Surfaces, European Conference on Nondestructive Testing 2006
- [8] Scheel, H. (2006), Schnelle Spanndrahtbruchortung in Querspanngliedern von Brückenplatten, Fachtagung Bauwerksdiagnose 2006, Berichtsband BB 100-CD