Diagnose Ingenieure
experts in building diagnostics

Seilkompetenz im Team Bauwerksprüfung

mit dem MAVIS Seilroboter System

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Prüfung und Instandhaltung von Brückenseilen

Wenn von Seilen im herkömmlichen Sinne gesprochen wird, werden vor allen Dingen die weltweit verbreiteten offenen Spiralseile und in Deutschland entwickelten vollverschlossenen Seile angesprochen, deren Verwendung in Ingenieurbauwerken seit vielen Jahrzehnten gebräuchlich sind. Solche Seile werden nicht nur in den bekannten großen Bauwerken verwendet, wie z. B. die Rheinbrücken von Köln, Düsseldorf oder Emmerich sondern auch in zahlreichen kleinen Fußgängerbrücken oder abgehängten Dachkonstruktionen. Beispiele hierfür sind die Lodemannbrücke in Hannover, der Holbeinsteg in Frankfurt am Main oder das Olympia-Zeltdach in München.

Korrosion

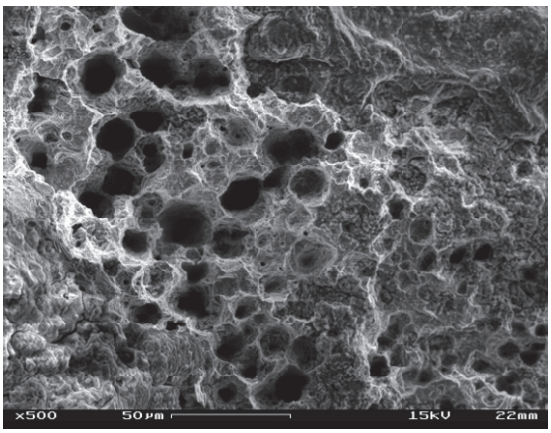
Nachdem man in den ersten Jahren Brückenseile ohne besonderen Korrosionsschutz „schwarz“ eingesetzt hatte, ist man bereits im 19. Jahrhundert dazu übergegangen, die Seile mit einem Korrosionsschutz aus Bleimennige und Ölfarben zu schützen. Nach dem zweiten Weltkrieg, als zahlreiche Brücken in Deutschland wieder errichtet wurden, und bis Ende der 1970iger Jahre neue technische Richtlinien aufgestellt wurden, wurden auch Anforderungen an Korrosionsschutzsysteme für Brückenseile formuliert.

Um einen dauerhaften Korrosionsschutz mit langen Standzeiten zu erreichen, müssen die Beschichtungssysteme besondere Eigenschaften nachweisen. Dazu gehört, dass sie sich unter allen Gebrauchsbedingungen dauerhaft elastisch verhalten und somit den hohen dynamischen Beanspruchungen der Bauteile gerecht werden. Außerdem muss die Verträglichkeit der Substanzen mit allen, bei der Seilherstellung verwendeten Hilfsmitteln, insbesondere den Seilverfüllmitteln, sicher gestellt sein.

Die in den Technischen Liefer- und Prüfbedingungen des Bundesverkehrsministeriums herausgegebenen Richtlinien für den Korrosionsschutz von Brückenseilen TL/TP KOR Seile wurden umfangreiche Prüfungen für die Anstrichsysteme formuliert, die für eine erfolgreiche Zulassung Verwendung an Brückenseilen im Bereich des Bundes absolviert werden müssen. Hierzu gehört neben den ansonsten bekannten Korrosionsschutzprüfungen ein Dauerschwingversuch mit einem Seil, das mit Lastwechseln im Bereich üblicher Seilspannungen beaufschlagt wird. Das Korrosionsschutzsystem muss nach diesen Beanspruchungen unbeschädigt und in voller Funktion standhalten.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Anhand einiger Schadensfälle wurde die Bedeutung der Haftung des Materials auf den Untergrund und damit verbunden die qualifizierte Reinigung und Vorbereitung für die Dauerhaftigkeit des Korrosionsschutzes erkannt. Dementsprechend wird in den technischen Richtlinien auch Anforderungen an die Vorbereitungs- und Anwendung den Auftrag des Farbsystems auf die Seile mehr und mehr ausführlich vorgeschrieben. Dennoch kommt es auch heute noch zum Versagen der Haftung des Farbsystems, vorzugsweise zwischen den Schichten. Diese Schäden haben auch Konsequenzen für die Dauerhaftigkeit des Seiles selbst. Der wohl berühmteste Schadensfall dieser Art ist der Drahtbruch mehrerer Drähte an einem Seil der Brücke Flehe.



Flehe 2003: Untersuchungen des Drahtbruchs unter abgelöster Farbschicht.

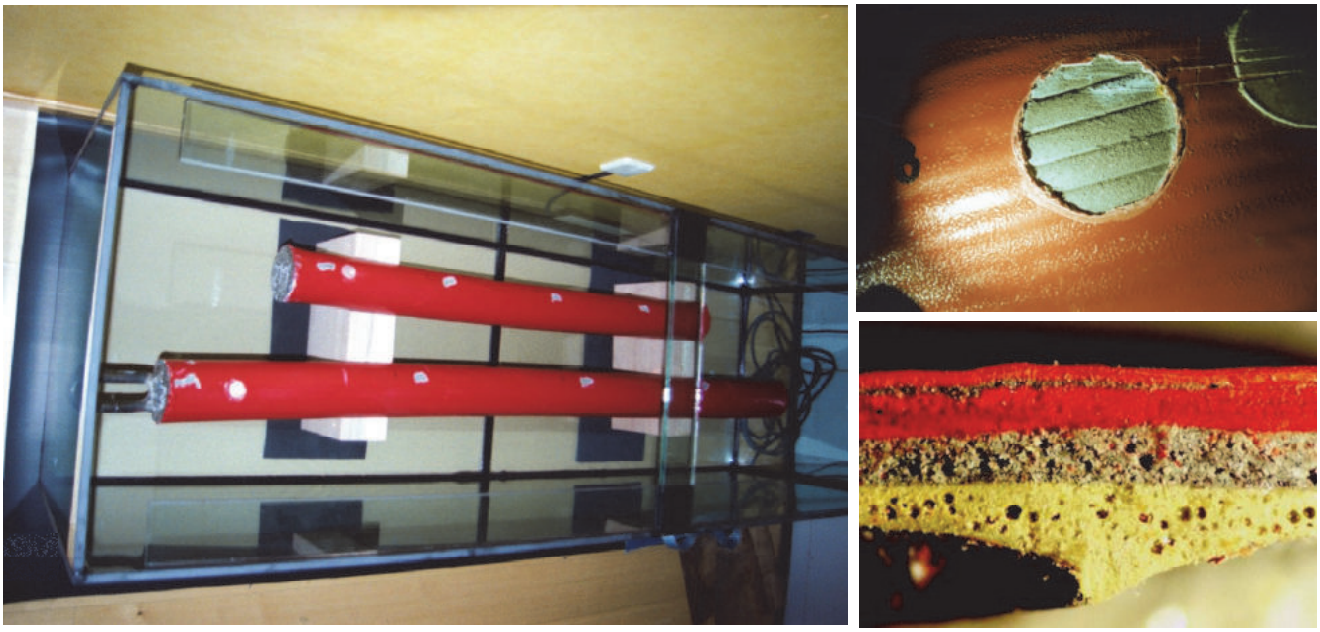
In einem Seilbündel oder Kabel haben sich auch die Spalten zwischen Seilen als problematisch erwiesen. Diese Spalte sind nur durch Spreizen der Kabel oder Injektionen für den Korrosionsschutz erreichbar. Vor rd. 30 Jahren wurden daher die Kabel einiger Brücken gespreizt, wie z.B. an der Brücke Deggendorf (P. Boué). Jüngere Untersuchungen von Diagnose-Ingenieuren an der Seversinsbrücke und in Emmerich haben gezeigt, dass im Innern des Seilbündels korrosive Medien vorhanden sein können, und der Korrosionsschutz durch Injektion nur unvollständig wirksam sein kann. Dagegen haben gespreizten Seilpakete ein „normales“ Korrosionsverhalten. Schließlich soll nicht unerwähnt bleiben, dass die gefährlichste Art der Korrosion an den Seilwurzeln, beim Übergang zu den Seilköpfen, oder an den Sätteln auftritt. Hier sind die Drähte auch einer besonderen Zwangsspannung und Ermüdung ausgesetzt

Severinsbrücke 2012: Korrosion im Spalt des Kabels.

Ludwigshafen 2001: Seilwurzeln, Erneuerung des Korrosionsschutzes mit einem in unserem Labor entwickelten Injektionsmaterial.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Nach und nach ist man bei der Seilherstellung dazu übergegangen, verzinkte Einzeldrähte zu einem Seil zusammen zu schlagen, so dass Haftung des Korrosionsschutzes auf dem verzinkten Untergrund beachtet werden muss. In den letzten Jahren wurden auch Versuche mit Galfan beschichteten Drähten vorgenommen, deren höhere Lebensdauer gegenüber der Verzinkung nachgewiesen ist. Bei dünneren Drahtdurchmessern ist man heute dazu übergegangen, Edelstähle für die Drahtherstellung zu verwenden.



Labor DI Boué 2004: Korrosionstest mit Galfan – behandelten Seilen.

Unsere Kompetenz:
Seit Jahrzehnten begleiten wir Entwicklungen
im Korrosionsschutz von Brückenseilen.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

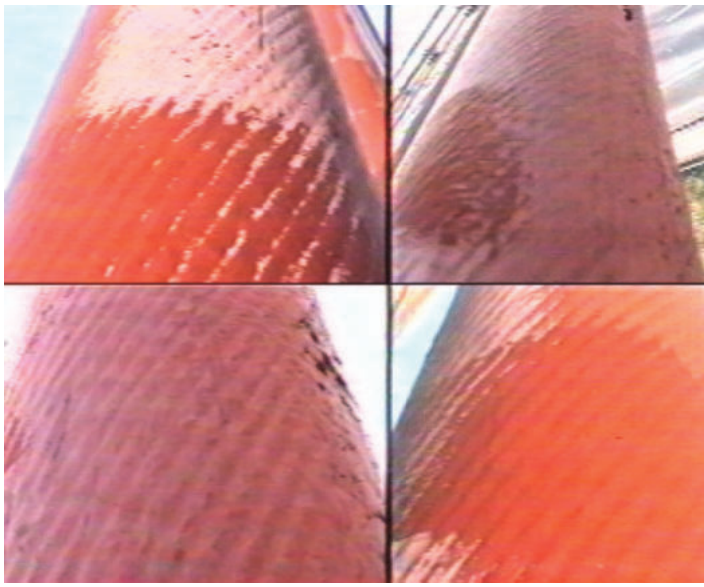
Seilbefahrung

Deggendorf 1996: Prüfung der Seile aus dem BSG-Befahrgerät (A. und P. Boué)

Die Besonderheit der Seile in Bauwerken mit außergewöhnlichen Abmessungen besteht darin, dass diese sehr schlecht oder gar nicht mit normalen Hilfsmitteln erreichbar sind. Ist es teilweise unmöglich, kleinere Brücken vollständig einzurüsten. Auch mit Steigern und ähnlichen Hilfsgerüsten ist nicht jede Stelle auf dem Seil erreichbar. Es hat u. a. auch dazu geführt, dass eine Vielzahl von Brückenseilen nicht den vorgeschriebenen regelmäßigen Inspektionen unterzogen wurde. Bereits früh wurden Versuche unternommen, dieses Defizit durch Einsatz besonderer Fahrzeuge und Hilfsmitteln zu kompensieren. So wurde für eine Reihe von Brücken Befahrgeräte entwickelt, mit denen Personen in die unmittelbare Nähe der Seile transportiert werden können. Von diesen Befahrgeräten aus war auch eine Reparatur bzw. eine Erneuerung des Korrosionsschutzes möglich. Mit zunehmenden Sicherheitsanforderungen an derartige Befahrgeräte wurde deren Einsatz immer aufwändiger und teurer. Es lag nahe, die Inspektionen und erforderlichen Arbeiten an den Seilen durch automatische Systeme, Inspektions- und Beschichtungsroboter, durchzuführen.

Seit den ersten Versuchen im Jahr 2003 mit einer selbstfahrenden Plattform konnte erstmals 2005 mit MAVIS der Öffentlichkeit ein ausgereiftes, sehr kleines und leichtes Prüfsystem für die Prüfung von Seilen vorgestellt werden. In den vergangenen Jahren wurde MAVIS an zahlreichen Brücken eingesetzt. Jeder Einsatz mit individueller Fragestellung bewies die hohe Genauigkeit und Anpassungsfähigkeit des Systems. Mittlerweile ist das MAVIS-Prüfsystem im Regelwerk für die Seilprüfung in Deutschland durch ZTV-ING eingeführt.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de



Fleher Brücke 2002: Erste Überlegungen zur selbständigen Roboter-Seilbefahrung

Prüfstand der Diagnose-Ing. Boué 2004: Prüfung von Fahrwerken für die Seilbefahrung

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Die Seile der 60 m hohen Pylonbrücke Ludwigshafen wurden nach der Erneuerung des Korrosionsschutz-Anstrichs mit MAVIS befahren. Zum Einsatz kam neben der vollständigen Video-Dokumentation der 3.160 m langen rd. 100 mm dicken Vollverschlossenen Seile eine Wirbelstrom-Schichtdickensonde. 10 gravierende Fehlstellen wurden detektiert. Die Prüfung wurde zu 1/3 der kalkulierten Kosten für Gerüst- oder Hubsteiger-Einsatz durchgeführt.

Auch Hüllrohre von Litzenbündel-Seilen werden von MAVIS befahren, zunächst nur für die Sichtprüfung. Die besondere Prüfaufgabe an den 48 Seilen der Kurt-Schumacher Brücke mit 75 m Pylonhöhe bestand in der Kontrolle der ca. 17.000 m Längs- und Quer-Schweißnähte. Zahlreiche Defekte wurden an den 220 mm - Edelstahlrohren mit variierenden, ovalen Querschnitten lokalisiert. Der schmale Streifen innerhalb der Verkehrswege auf dem Brückendeck reichte für die Bedienung von MAVIS aus: Straßenbahn- und Kraftfahrzeugverkehr konnten während der Prüfung ungehindert in Betrieb bleiben.

Kurt Schumacherbrücke Mannheim 2006: Schweißnahtprüfung der Hüllrohre

Bei Testläufen an der 152 m hohen Skarnsundbrücke und der 146 m hohen Flehebrücke, beide mit Vollverschlossenen Seilen von 100 mm Durchmesser, wurde ein neues, aus Einzelbildern zusammengesetztes Dokumentationssystem mit höherer Auflösung und geringerem Datenvolumen erprobt. Durch Optimierung der Technik wurde das MAVIS-System mit diesen Einsätzen noch schneller und handlicher.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Im Laufe der Jahre entstanden Spezial-Fahrgeräte für Kabel. Die 112 m hohe Rheinkniebrücke in Düsseldorf hat 16 solcher bis 280 m lange Kabel. Das umfassende Fahrgerät wurde für die Längen bis zu 300 m mit einem mitgeführten über WLAN gesteuerten Kleincomputer ausgestattet.

Rheinkniebrücke 2016: MAVIS 600 mit 6 Kameras.

An den mit Wendel versehenen Hüllrohren der 72 Litzenbündel der neuen Rheinbrücke Wesel wurde MAVIS- mit einem Schwingungsaufnehmer-System kombiniert. Dabei regt das MAVIS-Fahrgestell die Grundschwingungen der bis zu 300 m langen Seilsysteme selbst an. Mit der FFT-Analyse in Echtzeit wurde die Seilkraft bestimmt.

Die neueste Generation unserer MAVIS-Inspect Serie ist ein autonomes, batteriegetriebenes Fahrgerät, das vollkommen autonom Brückenseile befährt, prüft und die Prüfung dokumentiert.

Unsere Kompetenz:
Jahrzehntelange Erfahrung mit der Inspektion und autonomen Befahrung von Brückenseilen.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Gespreizte Kabel und gekreuzte Seile

Eine besondere Herausforderung ist die Befahrung von gespreizten Kabelseilen. Für die 1975 errichtete Donaubrücke der A3 in Deggenau mit acht Paketen Vollverschlossener Seile wurde das „Klettergerät“ entwickelt. Die 51 Einzelseile von 80 mm und 68 mm Durchmesser werden in dem rd. 80 m über der Fahrbahn gelegenen Pylonkopf über einen Sattel umgelenkt und in 4 Seilpaketen auf jeder Seite zusammengefasst. 1996 wurden die Seilpakete (Konzept: P. Boué) aufgelöst und die Einzelseile durch Spreizschellen auseinander gehalten. Es gibt verschiedene Anordnungen der Seile in den Paketen mit 9, 15 und 18 Seilen in jeweils drei Lagen. Die Zwischenräume betragen 80 mm bzw. 92 mm. Die Seile haben eine freie Gesamtlänger von etwa 14.500 m.

Bisher wurden die Seilpakete der Donaubrücke Deggendorf mit Hilfe des BSG geprüft. Mit der Aufgabe des BSG-Betriebes wurde die Kamerabefahrung in ZTV-ING als Methode für die Seilinspektion verankert. Nun musste nach Möglichkeiten gesucht werden, auch Seilpakete mit und ohne Spreizung mit dem automatischen Kamerasystem zu befahren. Mit dem unbemannten und selbst kletternden Inspektionsgerät MAVIS 400 D wurde eine Lösung für dieses Problem gefunden.

Deggenau 2013: Einsatz des „Klettermavis“ 400D (Patent der Diagnose-Ing. Boué)

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Eine Steigerung des Schwierigkeitsgrades ergibt sich, wenn sich zwei einzelne Seile kreuzen. Ein besonders modifiziertes Kletter-MAVIS wurde für diese Situation an der Fehmarnsund-Brücke entwickelt.

Fehmarn 2018: Einsatz des „Klettermavis“ 400F

Seilschwingungen

Schwingungen von Brücken und Brückenseilen sind periodische und stochastische Vorgänge, deren Verformungsamplituden aus Gründen der Betriebssicherheit und Dauerhaftigkeit gering gehalten werden müssen. Sie werden durch böigen Wind, Windwirbel, Erdbeben oder Verkehr (auch Fußgängerverkehr) angeregt. Auch Parameterkombinationen wie Regen und Wind sind als Anregungsfunktionen bekannt geworden. Die DIN 1055 Teil 4 berücksichtigt nicht nur eine statische Windersatzlast, sondern führt auch u.a. mit Böenreaktionsfaktor, Resonanzfunktion und winderregter Querschwingungsamplitude dynamische Vorgänge in die Bemessungsregeln ein.

An Brücken mit Pylonen, Schrägseilen und Hängern können verschiedene Schwingungsarten auftreten. Es werden die einfachen Biegungsschwingungen mit ihren harmonischen Oberschwingungen ebenso wie Flatterschwingungen (gekoppelte Biegung und Torsion), bewegungsinduzierte Galloping- und Torsionsgallopingschwingungen beobachtet.

Es ist von fundamentalem Interesse für die Vermeidung von schädlichen Schwingungen die kritischen Frequenzbereiche der Schwingungsformen der Bauwerke zu kennen. Sofern die anregenden Parameter nicht beeinflusst werden können, müssen die Frequenzbänder der Bauwerksschwingungen so verschoben sein, dass ein „locking in“ zur Anregung der Schwingungen nicht möglich ist. Eine für die häufige Anregung von Schwingungen durch Wind wichtige Größe ist die Einsatzgeschwindigkeit als Funktion der Anblasrichtung, die in Verbindung mit statistischen Wetterdaten Auskunft über das Risiko windinduzierter Schwingungen geben wird.

Da die Möglichkeiten theoretischer Vorhersagen von Schwingungsphänomenen an Brücken mit weitgespannten, hochdynamischen Tragwerken begrenzt sind, ist ein stufenweises Vorgehen empfohlen. Das Bauwerk wird unter Ausschöpfung der theoretischen und konstruktiven Möglichkeiten errichtet. Nach Fertigstellung werden die Schwingungen und ihre maßgeblichen Parameter experimentell ohne und mit Verkehr ermittelt. Aus der Charakteristik der Schwingungen und ihrer Anregungsgrößen leiten sich die empfehlenswerten Eingriffe zur Optimierung, in der Regel in Form von zusätzlichen direkten Breitband-Dämpfern, ab.

Aufgrund der Vielzahl der möglichen Einwirkungen ist es bei Schrägseilbrücken nicht ausreichend, nur die Eigenschwingungen der Seile und deren „natürliche“ Dämpfung im unbelasteten Zustand zu kennen. Es ist erforderlich, auch die Korrelation zu den Einwirkungsgrößen Verkehr und Wind festzustellen. Hierfür werden Langzeit-Messung empfohlen. An mehreren Brücken, unter anderem der Donaubrücke Deggendorf, Rheinbrücken Rodenkirchen und Wesel, Hochbrücke Bremen und vielen kleineren Brückenbauwerken haben wir in den letzten 25 Jahren Schwingungsmessungen an allen Seilen und an verschiedenen Stellen der Brücke ausgeführt. Korrelationen mit Verkehr, Wind und Witterung wurden erfasst.

Unsere Kompetenz:
Messechnische Realisierung unterschiedlicher Aufgabenstellungen.
Von der Kurzzeitmessung bis zum Monitoring.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Magnetprüfung

Der Begriff Magnetprüfung ist auf eine Bezeichnung des früher verwendeten Prüfverfahrens zurückzuführen, da die ersten Prüfgeräte Permanentmagnete zur Magnetisierung des im Prüfkopf befindlichen Seilabschnittes benutzten. Für die zerstörungsfreie Prüfung von Seilen gibt es für Seilbahnen mit Personenverkehr die DIN EN 12927-8 mit der Bezeichnung MRT (Magnetic Rope Testing). Die Norm beinhaltet Litzenseile sowie vollverschlossene Seile. Litzenbündel- bzw. Paralleldrahtbündelsysteme kommen im Seilbahn-bereich jedoch nicht zur Anwendung und sind bisher nicht genormt.

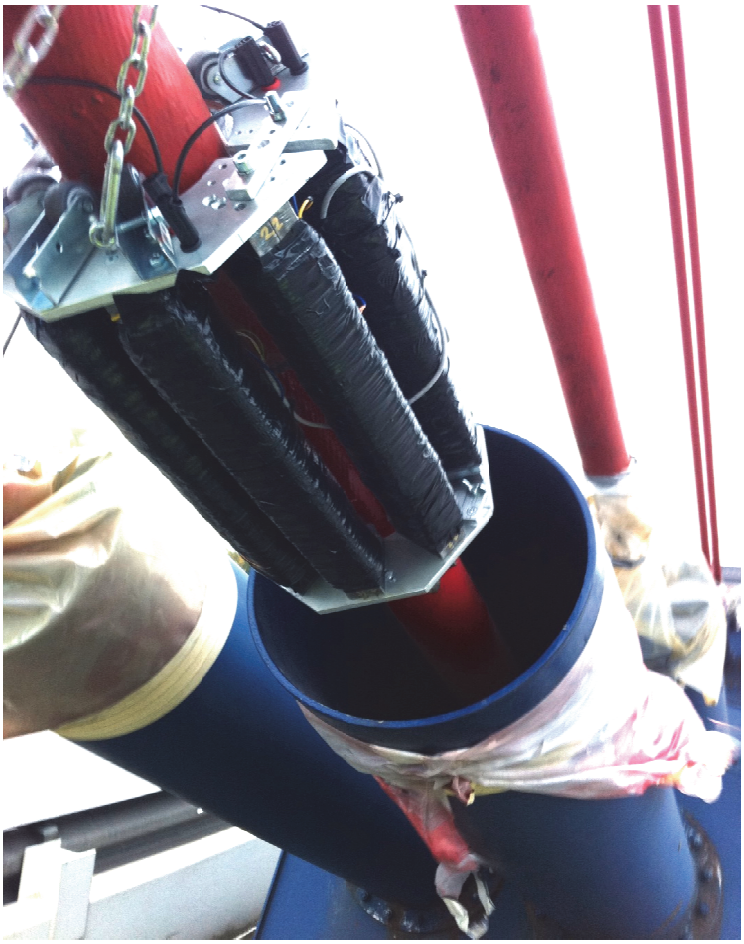
MRT-Geräte sind heute so ausgelegt, dass sie nach mehreren physikalischen Grundsätzen angewendet werden können. Der Verlust der metallischen Querschnittsfläche kann durch Anwendung des Prinzips des magnetischen Flusses bestimmt werden. Gebrochene Drähte und Korrosion können indirekt durch ihren magnetischen Streufluss gefunden werden.

Durch den Einfluss eines äußeren Magnetfeldes wird im Innern eines Ferromagnetischen Seiles ein internes Feld erzeugt. Die Stärke des inneren Magnetfeldes ist proportional zur magnetischen Suszeptibilität des Seiles. Die magnetische Suszeptibilität des für Seile verwendeten Stahls beträgt $\mu=500$, so dass der Stahl der Brückenseile zu den Ferromagneten ($\mu>1$) gezählt werden kann.

Magnetisierungseinheiten für Messungen des magnetischen Flusses erzeugen in der Seillänge, die das Gerät (den Magnetisierungskreis) durchläuft, einen konstanten Fluss. Die Magnetisierung erfolgt heute durch elektromagnetische Spulen im Arbeitsbereich der magnetischen Sättigung. Der gesamte Magnetfluss im Seil wird durch Sekundär- Messspulen an den Polen der Erregermagneten gemessen, so dass Schwankungen in dem stationären Magnetfeld erfasst werden. Voraussetzung ist, dass die Spaltbreite zwischen dem Kern der Erregerspule und der Seiloberfläche konstant bleibt. Der magnetische Streufluss, der durch eine Fehlstelle im Seil, wie etwa ein gebrochener Draht, verursacht wird, wird unmittelbar an der Seiloberfläche innerhalb des Jochs mit einem Hall-Effekt-Sensor gemessen. Bei der getrennten Auswertung von mehreren radial positionierten Sensoren soll eine ungefähre Positionierung der lokalen Defekte möglich sein.

Das externe Magnetfeld wird in den MAVIS-Geräten durch einen Ring von Elektromagneten erzeugt. Durch Metalljoche, die durch das MAVIS Fahrgestell in einem sehr kleinen konstanten Abstand zur Seiloberfläche geführt werden, werden die Feldlinien in das Seil eingeleitet. An jeder Spule wird der Magnetkreis geschlossen. Im ungestörten Innern des Seils möchte man von einer homogenen Verteilung der Magnetfeldstärke ausgehen. Tatsächlich aber werden im Seilinneren die Magnetfeldlinien an zahlreichen Grenzflächen zwischen den Einzeldrähten verformt.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de



Hamburg, K6, 2014: Anordnung Magnete im Gerät MAVIS EM03
beim Einfahren in den Brückenüberbau

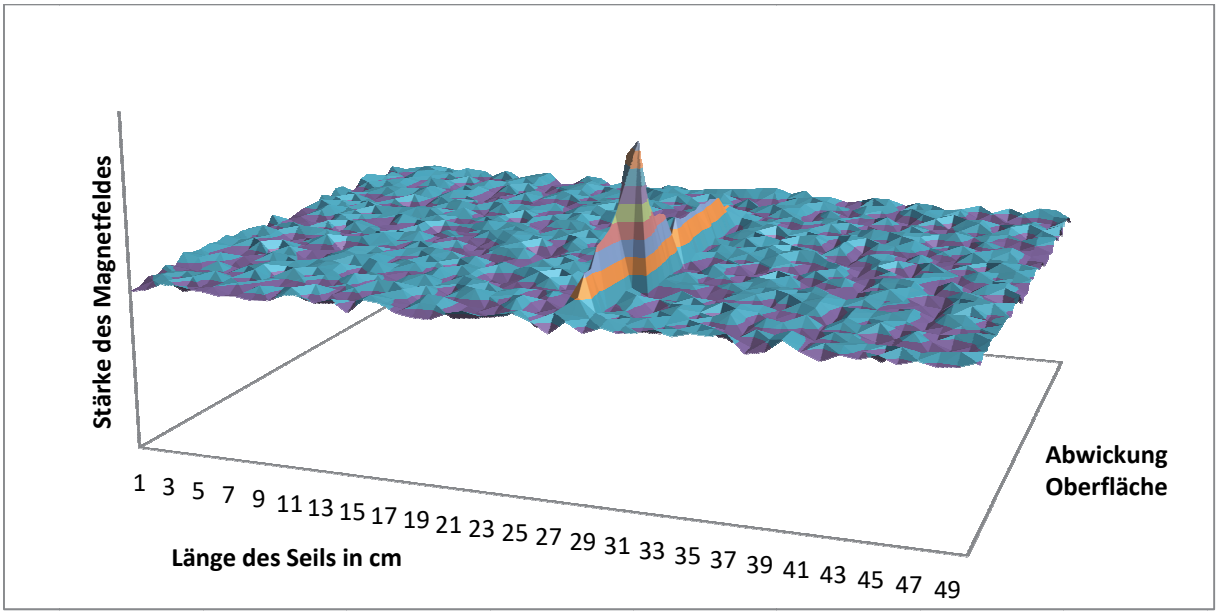
Befindet sich in dem Seil eine Störung des magnetischen Flusses, z.B. durch einen Drahtbruch, so entsteht lokal eine Singularität des Feldes, die sich in einem Polsprung (Änderung der Richtung) und einer Verdichtung der Feldlinie an der Oberfläche bemerkbar macht. Diese Änderung „schiebt“ die Magnetfeldlinien über dem Drahtbruch zusammen, was sich bis zur Oberfläche des Seiles auswirkt und dort gemessen werden kann. Wegen der linearen Abnahme der Feldstärke ins Seilinnere wird das an der Oberfläche detektierbare Signal umso schwächer, je weiter die Störung im Inneren liegt. Daher kann es vorkommen, dass kleinere Drahtbrüche oder Fehlstellen im Rauschen des Signals untergehen. Dagegen erzeugen Störungen an der Oberfläche ein gut detektierbares Streufeld, das sehr sicher detektiert wird.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Mit den MAVIS-Spulensystemen können statische oder dynamische Magnetfelder erzeugt werden, wobei die Flussdichte kontinuierlich verändert werden kann. Die Joche und die sie speisenden Spulen werden für jeden Seiltyp gesondert hergestellt und angepasst, so dass ein optimales Verhältnis von den Abmessungen und dem Gewicht der Erregereinheit zur Leistung der Magnetisierung bis zu Sättigung individuell eingestellt werden kann.

Es werden Spulen von bis zu 5.000 AW (Amperewindungen) eingesetzt, wobei die Läge der Spule mindestens dem Seildurchmesser entspricht. Mit den Spulen entstehen außerhalb der Magneten in der Längsachse der Anordnung bis zu 0,2 10^4 A/m je Spule und innerhalb eines Seiles von beispielsweise 100 mm Durchmesser etwa 1,5 Vs/m².

Mit Hilfe von in den Lufträumen der Spulenjoche angeordneten Magnetfeld-Detektoren werden kleinste Änderungen des Magnetfeldes im Spalt um das Seil unmittelbar am Joch der Magnetspulen gemessen. Die Halbleiter- Hall-Sensoren werten Stärke und Richtung des magnetischen Feldes gleichzeitig aus. MAVIS liefert zu den Daten der Magnetprüfung in einem neuartigen Prüfverfahren jeweils eine rundum-Darstellung der gesamten Seiloberfläche. Dieses Prüfverfahren eignet sich besonders für die Darstellung der Seiloberfläche unter „undurchsichtigen“ Schichten auf Seilen, z.B. nach Umwickelung oder mit Kunststoff-Mantel.



Das Beispiel zeigt die 3D-Abwicklung einer Seiloberfläche mit einer Kerbe an der Oberfläche bei

Es gibt FE-Simulationsberechnungen und Experimente, die belegen, dass einzelne Drahtbrüche im Innern eines Seiles detektierbar sind, jedoch sind theoretische Grenzen gesetzt [R. Christen, EMPA, 2012]. Die Brechungen an den Grenzflächen und Streufelder der vielen inneren Oberfläche der Drahtlagen stören durch „Rauschen“ die Detektierbarkeit der Signale mit abnehmendem Signal-Rausch-Verhältnis. Wegen dieser Effekte muss man der Detektion von Drahtbrüchen im Innern von Seilen, aber auch von Seilbündeln in LBS sehr kritisch gegen über stehen. Forschungen zu diesem Thema stehen von aus.

Vergleich der Magnet-Befunde an Seilen von 1967, 1974, 1978, 1990, 1997, 2004, 2011 und 2017

Seil-Nr.	d [mm]	l [m]	vor 2004	2004	2011	2017	Bemerkungen
U1-2	90	105	33	36,1 i			Ab 2004 nicht detektiert
					69,4 A	69,4 A	neu ab 2011
		101	86				ab 2004 nicht mehr
U1-3	90	98		52,6 U	ab 53 A	53 A	äußere Lage verschoben
U1-5	57	84	2	3,4 a	3,4 B	3,5 B	Drahtbruch
			65	.d.	55,7 A	55,7 A	Anstrichschaden, Korrosion
U1-7	57	70			13,1 A	13,1 A	Anstrichschaden, Korrosion
U1-9	78	57			ab 42,5 A	42,5 ff	äußere Lage verschoben
U2-18	78	48	17;	17,3	17,3 B	17,3 B	schwach
U2-19	78	55	33		35,6 A	35,6 A	Anstrichschaden, Korrosion
			86				ab 2004 nicht mehr
U2-20	78	61	28	27,8 a	27,8 A	27,8 A	Drahtbruch
U2-21	57	68			34,2 A	34,2 A	Anstrichschaden, Korrosion
U2-22	57	75	2	2,7 a	2-10 A/B	2 ff	Drahtbruch
			10	10,2 a	10 A/B		Drahtbruch
			65				ab 2004 nicht mehr
U2-23	57	82		67,4-68,0 U	67-68 A		unter Farbe, Korrosion
U2-24	57	89	20	19,4 i			2011 nicht detektiert
			52	54,3-54,8 R	54,5 A		Anstrichschaden, Korrosion
U2-25	72	96			81,5 A		Anstrichschaden, Korrosion
U2-26	90	103			94,1 A/B		äußere Lage verschoben
U2-27	90	109			7,8 A/B		äußere Lage verschoben

Korrosionsschutz

Die ersten Entwicklungen von Beschichtungsautomaten für Seile wurden in den 1960er Jahren durchgeführt. Sie verwendeten das in einem Patent angemeldete Verfahren, einer Farbgefüllten Kammer, die mit Hilfe von Seilzügen über die Brückenseile hinweg gezogen wird und dabei sowohl Reinigung als auch Anstriche durch Flutung vornimmt. Dieses System setzte sich allerdings nicht durch. Eine vergleichbare Entwicklung wurde in den 2000er Jahren an der Ludwigshafener Bahnhofsbrücke vorgestellt. Auch hier wird eine Farbkammer, in die das Korrosionsschutzsystem eingebracht wird, über das Brückenseil gezogen. Mit der Erfindung der selbstgetriebenen Arbeitsplattform zur Durchführung von automatischen Inspektionen und handwerklichen Arbeiten auf Seilen mit dem MAVIS-System wurden die bei den mit Seilzügen bewegten Systemen auftretenden Nachteile kompensiert (Patente der Diagnose- Ing. Boué in Deutschland, Europa und USA).

Eine besondere Schwierigkeit bei der Verarbeitung des in Deutschland zugelassenen Korrosionsschutzsystems besteht darin, dass es sich um ein Zweikomponenten-System handelt, dass eine relativ kurze Tropfzeit besitzt. In dieser Zeit verändert sich die Viskosität des Systems deutlich, so dass die Maschinenparameter zum Auftragen der Farbe ständig angepasst werden müssen. Dies ist durch die Überwachung des Auftrages mit entsprechender Messung und Bildübertragung direkt an den Steuerstand möglich. In dem System „MAVIS“ wird der Auftrag des Systems, wie in den technischen Regelwerken vorgeschrieben, mit dem Pinsel in Schlagrichtung des Seiles vorgenommen. Die Rotation des Pinselwerkes ermöglicht eine gleichmäßige Beschichtung. Mit Arbeitsgeschwindigkeiten von bis zu 3,00 m/min. wird dabei die Leistung einer durchschnittlichen von Hand aufgebrachten Beschichtung erreicht. Die Kontinuität des Bearbeitungsvorganges wird allerdings deren Qualität erheblich übertroffen.

An der Lodemannbrücke in Hannover wurde ein erster praktischer Einsatz des Systems ausgeführt. Es wurden drei Schichten des zweikomponentigen Korrosionsschutz-Systems aufgetragen, nach der Reinigung und Vorbehandlung des Untergrundes. Die Haftung des Systems auf dem Untergrund ist ausgezeichnet, auch nach nunmehr 10 Jahren Standzeit ist die Beschichtung in einem einwand-freien Zustand. Für eine Großanwendung im Ausland wurde das System der selbstfahrenden Plattform weiter entwickelt und mit einem Aufsatz zum Spritzen von Farben ausgestattet. Da ein 1K- System eingesetzt wird, ist eine kontinuierliche Arbeit auch über längere Zeit möglich. Die Anlage wurde so konzipiert, dass eine Schicht von etwa 80 bis 200 µm bei Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen 10,00 m und 20,00 m/min aufgetragen werden.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Lodemannbrücke 2010: Erstes automatisches MAVIS-Beschichtungsgerät

Ludwigsburg 2019: MAVIS Sweeper zum Abstrahlen der Altbeschichtung

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Weitere Module, die zur Untergrundvorbehandlung eingesetzt werden können, vervollständigen die Familie der „MAVIS-Recreator-Geräte“. Dazu gehört das sweepen von Seilen sowie verschiedene Arten der mechanischen Vorbehandlung oder das Waschen mit Flüssigkeit und Bürsten. Alle diese Geräte haben eine ähnliche Leistungsfähigkeit, so dass umfangreiche Korrosionsschutzarbeiten innerhalb kurzer Zeit möglich sind.

Besonders interessant für den Bauherrn ist, dass der Einsatz der Beschichtungsautomaten relativ problemlos erfolgt. Es sind nur kurze Rüstzeiten erforderlich, auch die Bearbeitungszeit hält sich in überschaubaren Grenzen. Ist aufgrund der hohen Streckenleistung der Geräte sehr kurz. In der Regel bedarf es keiner Verkehrseinschränkung auf den Bauwerken, so dass die Korrosionsschutz-arbeiten keine oder nur geringe Verkehrsbehinderungen auslösen müssen.

Es ist der besondere Vorteil des MAVIS-Verfahrens, dass der klassische Korrosionsschutz mit Anstrichen hergestellt werden kann. Es ist sowohl bei der Neubeschichtung als auch bei der Reparatur von Altbeschichtungen möglich. Die als Alternative von dritter Seite vorgeschlagener Umwicklung von Seilen, insbesondere die Umwicklung bereits vorhandenen, aber bereits beschädigten Korrosionsschutzes, entspricht nicht den allgemein anerkannten Grundsätzen, die bei dem Schutz von empfindlichen Stahlbauten zu beachten sind.

Damit ist das MAVIS-Recreator-System aus fachlicher Sicht die optimale Lösung, den Korrosions-schutz von Seilen in bewährter Technologie zu stellen bzw. zu erneuern.

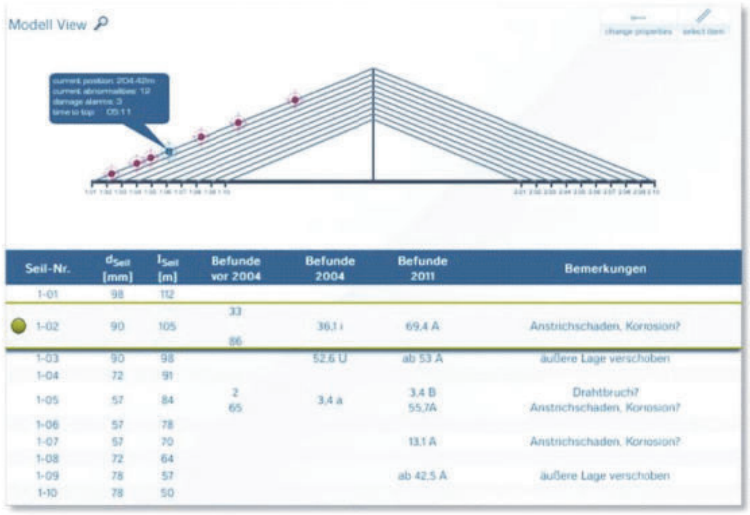
Unsere Kompetenz:
Entwicklung von Lösungen
für die automatische Herstellung
eines dauerhaften Korrosionsschutzes von Brückenseilen.

Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de

Diagnose Ingenieure
experts in building diagnostics

MAVIS INSPECTOR User Interface

Das MAVIS Inspector User Interface bildet die konsequente Fortsetzung des MAVIS Inspektions-Gedanken: Effiziente und nachhaltige Generierung von Daten zur Optimierung von Qualitätssicherung und Instandhaltungsmaßnahmen. Durch die Portierung der Werte und Medien in strukturierte Datensätze werden diese effizient archivierbar, Orts- und Zeitunabhängig einsehbar und im fortlaufenden Betrieb miteinander vergleichbar. Problemstellen werden cm-genau digital dokumentiert, Maßnahmen können daher mit höchst möglicher Effizienz gezielt durchgeführt werden. Die gesamtheitliche Entwicklung des Bauwerks lässt sich in Relation zu äußeren Einflüssen wie Wetter oder Verkehr langfristig analysieren – die proaktive Instandhaltung ist auf Basis Software-gestützter Prognosen präziser und nachhaltiger.



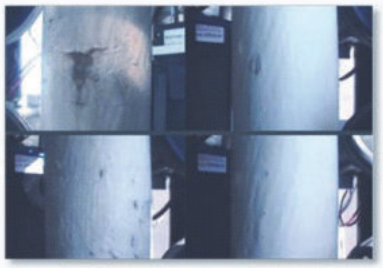
Seil-Nr.	d_{Seil} [mm]	l_{Seil} [m]	Befunde vor 2004	Befunde 2004	Befunde 2011	Bemerkungen
1-01	98	112				
1-02	90	105	33 86	36,1 i	69,4 A	Anstrichschaden, Korrosion?
1-03	90	98		52,6 U	ab 53 A	äußere Lage verschoben
1-04	72	91				
1-05	57	84	2 65	3,4 a	3,4 B 55,7A	Drahtbruch? Anstrichschaden, Korrosion?
1-06	57	78				
1-07	57	70			13,1 A	Anstrichschaden, Korrosion?
1-08	72	64				
1-09	78	57			ab 42,5 A	äußere Lage verschoben
1-10	78	50				

- Orts- und Zeit- unabhängige Sichtung von Ergebnissen in Echtzeit
- Portierung, Standardisierung und Indizierung der Messdaten
- Umfangreiche Software-gestützte Analysen gesammelter Daten für Einzelprüfungen und Intervalle
- Datenexporte als PDF, Excel oder CSV
- Modulare Anbindung vorhandener Monitoring Systeme und externer Datenschnittstellen

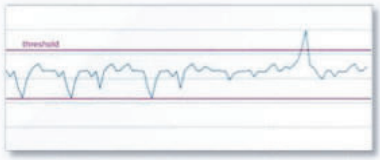
Datensätze

- 3D Bauwerksmodell
- HD Video und Bild
- Magnetinduktion
- Schichtendicken
- Wetter (externe Quellen)
- Verkehr (externe Quellen
- exogene Dynamik (externe Quellen)
- Schadenskategorien

Multi-Screen-View



Dynamic Data Visualization



Diagnose- und Ingenieurgesellschaft Dr. Boué mbH
Pascalstr. 17, 52076 Aachen Tel 02408 9568080
Info @ diagnose-ingenieure.de