

Einsatz der Schallemissionsanalyse als Dienstleistung an Brückenbauwerken

Manuel LÖHR¹

¹ GMA Werkstoffprüfung- Düsseldorf, NL Hamburg

Kurzfassung. Stichworte: Brückenbauwerke, Schallemissionsanalyse, Dienstleistung

Allgemein ist der Einsatz der Schallemissionsanalyse im Bauwesen sinnvoll, wenn Bereiche identifiziert oder überwacht werden sollen, die unter Belastung auffällig oder kritisch werden. Die Schallemissionsprüfung wird seit vielen Jahren an Brückenbauwerken eingesetzt, um insbesondere Risswachstum und Drahtbruch in Echtzeit zu detektieren und zu orten. Sie dient auch zur Zustandsbeurteilung mehrerer Brücken zur Priorisierung von Reparaturmaßnahmen oder Austausch. Seit dem Jahr 2006 ist durch die zuständige Behörde in Großbritannien die Schallemissionsprüfung als Prüf- und Dauerüberwachungsmethode empfohlen. MISTRAS hat nicht nur über 100 Stahlbrücken weltweit in Hinblick auf bruchkritische Bauteile (Augenstäbe, Balken, Versteifungen, Bolzen und Aufhängungen, Kastenträger, Doppel-T-Träger, Leichtfahrbahnen, Nieten, Kopfbolzendübel, Knotenbleche, Drahtbruch im Seil) mit Schallemission überprüft bzw. dauerhaft überwacht, sondern auch belastete Strukturelemente aus Beton (z.B. Drahtbrüche in Spannbeton oder an überlappenden Betonfugen).

Einführung

Die Schallemissionsprüfung ist eine zerstörungsfreie Messmethode, die in Echtzeit Risswachstum, Verschleiß, Korrosion und Drahtbrüche schon aus großen Entfernungen erkennen und beurteilen kann. Eine äußere Belastung, die zum Auftreten oder zur Veränderung von Fehlstellen führt, ist wesentlich für die Schallemissionsprüfung. Folgende Information erhält man aus der Schallemissionsprüfung: Wann, Wo und Wie entwickelt sich eine Fehlstelle. Es kann als Einzel- oder Übersichtsprüfung und als Sortiermethode eingesetzt werden, um zielgerichtet die Inspektion und Instandhaltung durchzuführen. Die Schallemissionsprüfung ist prädestiniert für die Dauerüberwachung von einzelnen Bauteilen, bis hin zu kompletten Bauwerken, um z.B. den Rissfortschritt in Echtzeit zu verfolgen. Durch Integration von weiteren Sensordaten (Dehnung, Schwingungen, etc.) wird eine umfangreiche Analyse möglich, um z.B. zu klären, unter welchen Umständen ein Riss wächst. Eine Angabe zur Fehlergröße muss durch andere zerstörungsfreie Prüfmethoden erfolgen.

1.0 Schallemissionsanalyse

Die Schallemissionsanalyse (AT- Acoustic Emission Testing) gehört zu den zerstörungsfreien Prüfverfahren. Das Prüfpersonal wird in drei Stufen ausgebildet und qualifiziert /1/. Entsprechende Kurse werden bei der Deutschen Gesellschaft zur zerstörungsfreien Prüfung (DGzFP) angeboten.

Bei der Behälterprüfung wird die Schallemissionsanalyse seit Jahren erfolgreich eingesetzt, um schnell und sicher Bereiche zu orten, die infolge einer Druckbelastung des Behälters Schallemission emittieren, z. B. durch unterkritisches Risswachstum. Die detektierte Schallemission wird bewertet und gibt Empfehlungen für weitere, nachfolgende zFP-Verfahren (falls ökonomisch), die dann zielgerichtet eingesetzt werden /2/. Des Weiteren dient die Schallemissionsprüfung als vom TÜV empfohlene Sicherheitsmaßnahme bei der Durchführung von notwendigen Gasdruckprüfungen an Behältern, insbesondere bei explosiven Medien /3/.

Die Schallemissionsprüfung verwendet Sensoren, die hochfrequente Druckwellen im Bereich von 20 kHz bis etwa 400 kHz erfassen (unterer Ultraschallbereich). Solche Druckwellen entstehen bei der Rissentstehung und dem Risswachstum. Wenige Sensoren genügen, um ein großes Bauteilvolumen integral zu erfassen; auch die dem Auge „verborgenen Fehler“ werden zur Anzeige gebracht. Ein Prinzipschema zur Schallemissionsmessung ist in Bild 1 dargestellt. Wesentlich ist das Vorhandensein einer äußeren Belastung, damit Schadensbereiche zur Aktivität stimuliert werden. Durch Überschreiten von lokalen Festigkeitseigenschaften kommt es z.B. bei Rissbildung oder – wachstum zur Freisetzung von gespeicherter, elastischer Energie (auch bei Reibung und Strukturveränderung), die u.a. in Wärme und Schall gewandelt wird. In jedem Material breiten sich diese Wellen mit einer materialspezifischen Geschwindigkeit und Dämpfung aus. Strukturveränderungen im Beton werden in einem Frequenzbereich von etwa 40 bis etwa 100 kHz empfangen, während für Metalle ein höherer Frequenzbereich genutzt wird. Die sich von der Quelle ausbreitende Druckwelle wird von Sensoren erfasst. Aus der Laufzeitdifferenz der Signale von der einzelnen, aussendenden Quelle (aktive Risse, Verbundstörungen, Reibung) zu einer Vielzahl von Sensoren (mindestens zwei bei linearer Ortung), kann auf die Position der aktiven Fehlstelle zurückgerechnet werden. Eine Angabe zur Fehlergröße ist nicht möglich.

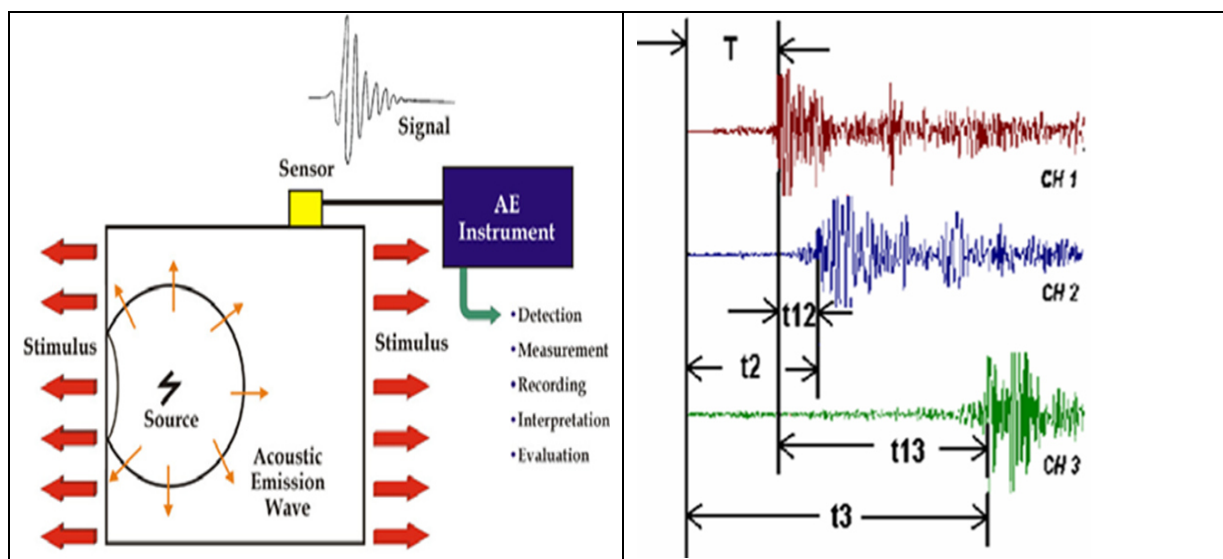


Bild 1. Prinzipskizze der Schallemissionsmessung (Bild links). Eine Struktur muss belastet sein („stimulus“), damit Fehlstellen zum Aussenden von niederfrequenten

Ultraschallwellen („acoustic emission wave“) angeregt werden. Außen an der Struktur angebrachte Sensoren erfassen diese „Druckwellen“. Die aktive Fehlstelle kann geortet werden, wenn mehrere Sensoren innerhalb kurzer Zeit angestoßen werden. Der Quellort wird nach dem sogenannten Laufzeitdifferenzverfahren berechnet (Bild rechts).

2.0 Schallemissionsprüfung an Brückenbauwerken

Allgemein ist der Einsatz der Schallemissionsanalyse im Bauwesen sinnvoll, wenn Bereiche identifiziert oder überwacht werden sollen, die unter Belastung auffällig oder kritisch werden /4/, /5/, /6/. Die Schallemissionsprüfung wird seit vielen Jahren an Brückenbauwerken eingesetzt, um insbesondere Risswachstum und Drahtbruch in Echtzeit zu detektieren und zu orten. Sie dient auch zur Zustandsbeurteilung mehrerer Brücken zur Priorisierung von Reparaturmaßnahmen oder Austausch. Seit dem Jahr 2006 ist durch die zuständige Behörde in Großbritannien die Schallemissionsprüfung für solche Prüf- und Dauerüberwachungsmethode empfohlen /7/. MISTRAS hat nicht nur über 100 Stahlbrücken in Hinblick auf bruchkritische Bauteile (Augenstäbe, Balken, Versteifungen, Bolzen und Aufhängungen, Kastenträger, Doppel-T-Träger, Leichtfahrbahnen, Nieten, Kopfbolzendübel, Knotenbleche, Drahtbruch im Seil) mit Schallemission überprüft bzw. dauerhaft überwacht, sondern auch belastete Strukturelemente aus Beton (z.B. Drahtbrüche in Spannbeton oder an überlappenden Betonfugen). Die erste Brückenüberwachung mithilfe der Schallemissionstechnik wurde 1972 an der Dumbarton-Bridge in der Nähe von San Francisco, Kalifornien/ USA, durchgeführt. In der Regel erfolgt der Messaufbau und die Messung ohne Einschränkung des Straßenverkehrs. Der Straßenverkehr auf der Brücke wird genutzt, um die notwendige, äußere Belastung zu erzeugen, unter denen Schadensbereiche Schallemission erzeugen. An der mit über 240.000 Pendlern täglich hochfrequentierten „San Francisco Oakland Bay Bridge“ (SFOBB) wurde das größte Zustandsüberwachungssystem der Welt installiert. MISTRAS überwacht 384 bruchkritische Augenstäbe von bis zu 23 m Länge mit insgesamt etwa 640 Sensoren, d.h. nur etwa 1,6 Sensoren pro Augenstab. Durch einfache lineare Ortung und geeigneter Datenkorrelationsanalyse werden Risse von nur 2,5 mm Länge aufgedeckt – und das mit einer Ortungsungenauigkeit von nur einigen Zentimetern.

Die Messtechnik von MISTRAS erlaubt auch die Einbindung anderer Sensortypen, wie z.B. induktive Wegaufnehmer (LVDT), Dehnungsmeßstreifen, Vibrations-, Temperatur-, Spannungs- und Wettersensoren. Die zeitsynchrone Datenerfassung an allen Sensoren ermöglicht die Analyse, wann, wo und warum ein Problem aufgetreten ist.

Im folgenden wird der Einsatz der Schallemissionsprüfung anhand von drei Anwendungsbeispielen erläutert.

2a. Anwendung Brücke: Hohlkastenprofile- Stahl

MISTRAS besitzt eine jahrzehntelange Erfahrung in der Prüfung und Überwachung von Stahlstrukturen, vornehmlich in der petrochemischen und der chemischen Industrie. Es existiert eine Einstufung der nachfolgenden Maßnahmen, die wir zusammen mit der Industrie entwickelt haben. Dieses Wissen haben wir in Zusammenarbeit mit der Universität Cardiff für Kastenträger aus Metall an Brücken angepasst und die Prüfprozedur „Boxmap“ entwickelt /8/. Vielfach werden die Sensoren zur Schallemissionsprüfung von außen an die Kastenträger installiert. Die Sensoren werden durch Magnethalter in Position gehalten (siehe Bild 2). Zunächst wird meist eine globale Prüfung durchgeführt. Das Ziel ist es, auffällige Bereiche zu identifizieren, die dann entsprechend der Empfehlungen aus

der BOXMAP- Prozedur zerstörungsfrei untersucht werden (z.B. mit Ultraschallverfahren). Eine lokale Überwachung bzw. Dauerüberwachung schließt sich an, wenn eine erhöhte Ortungsgenauigkeit bzw. mehr Information zu einem auffälligen Bereich oder dessen Entwicklung gefordert ist.



Bild 2. Ansichten zur Sensorinstallation für die Schallemissionsprüfung an den Hohlkastenträger des „Midland Links“ auf der Autobahn M5 in Großbritannien. Die Sensormontage erfolgt durch einen Hubwagen (Bild links). Die Sensoren werden in dreiecksförmiger Anordnung auf den Seitenflächen der Hohlkästen mittels Magnethaltern in Position gehalten (Bild rechts).

2b. Anwendung Brücke: Drahtbrüche im Spannbeton

MISTRAS wird im Jahr 2010 mit der Prüfung der A4- Überführung in London (Hammersmith Flyover)/ Großbritannien durch die „Transport for London (TfL)“ beauftragt. Durch vorherige Testmessungen kann gezeigt werden, dass Drahtbrüche in Echtzeit und mit einer Genauigkeit von +/- 10 cm ortbar sind. Es werden eine Vielzahl von Drahtbrüchen festgestellt und geortet. Es werden gezielt, spezielle Trägerstücke des 600 m langen Bauwerks identifiziert und einzelne Gruppen von Spannglied-Hüllrohren für interne Untersuchungen ausgewählt. Der tatsächliche Bauwerkszustand ist wesentlich schlechter als angenommen, so dass im Dezember 2011 die Brücke geschlossen wird, um die Brücke durch Verstärkungsmaßnahmen zu sanieren. Das beauftragte Unternehmen berichtet von beträchtlichen Schwankungen im Auftreten von abgerissenen und/ oder korrodierten Drähten: „Die Seile sind an einer Stelle in Ordnung, 100 mm weiter jedoch bis zu einem kritischem Zustand geschädigt“. MISTRAS fährt mit der Überwachung der gesamten Hammersmith-Überführung fort, um deren Sicherheit mit Schallemissionsmessung und weiteren Sensorinformationen (wie Dehnung, Temperatur, etc.) im Rahmen eines "Structural Health Monitoring Systems" - SHM zu gewährleisten.



Bild 3. Seitenansicht der „Hammersmith Flyover“ (Bild links) und Korrosion und Bruch an den vollvergossenen Spanndrähten (Bild rechts).

2c. Anwendung Brücke: Drahtbrüche an Seilbrücken

Die Schallemissionstechnik eignet sich hervorragend zum Einsatz auf diesem Gebiet, denn bei Brüchen und Rissen, die unter hoher Spannung entstehen, erfolgt eine hohe Energiefreisetzung. Daher lassen sich solche Schäden mit minimalem Messaufwand präzise und einfach aufspüren und orten.



Bild 4. Installation der Sensoren an den Hängekabeln der M48 Severn River Crossing Suspension Bridge in Großbritannien (Bild links) und Ansicht des Überwachungsraumes bei MISTRAS UK (Bild rechts).

Im Jahr 2007 beginnt MISTRAS mit der Sensorinstallation an der sogenannten „Severn Bridge“ der Autobahn M48 in Großbritannien. Diese Brücke führt über den Fluß Severn und verbindet England und Wales. Aufgabe der Dauerüberwachung ist es, Drahtbrüche in

den Schrägseilen zu detektieren und zu orten. Die Ursache für Drahtbrüche sind Korrosion und Vandalismus. Es sind 90 Sensoren zur Erfassung der Schallemission an den Hauptkabeln installiert. Der Abstand zwischen den Sensoren liegt bei etwa 36 m. Es sind mehrere einzelne Überwachungssysteme (per Glaskabel verlinkt und zeitsynchronisiert) im Einsatz. Die Daten werden in unseren Überwachungsraum in unserer Niederlassung in Cambridge/ England gesammelt und analysiert. Der Kunde erhält in regelmäßigen Abständen einen Überwachungsbericht und wird beim Auftreten von Auffälligkeiten umgehend benachrichtigt. Die aktuellen Messdaten und Berichte können auf einer eigens erstellten Internetseite eingesehen werden.

Literaturverzeichnis

- /1/ EN ISO 9712: Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung, Deutsche Fassung EN ISO 9712:2012
- /2/ EN 14584: Zerstörungsfreie Prüfung - Schallemissionsprüfung - Prüfung von metallischen Druckgeräten während der Abnahmeprüfung - Planare Ortung von Schallemissionsquellen; Deutsche Fassung EN 14584:2013
- /3/ VdTÜV Merblatt 369: Durchführung der Schallemissionsprüfung (SEP) bei Gasdruckprüfungen an Druckbehältern in Gasspeicheranlagen, Jahr 2001
- /4/ Löhr, M., Bohse, J., Effner, U., Helmerich, R., Röllig, M., Popp, P., Vielhaber, J.: Kombination Schallemissionsanalyse und Thermographie von kohlefaserverstärkten Stahlbetonträgern, DGzFP- Jahrestagung in Fürth, Jahr 2007, ISBN 978-3-931381-98-1
- /5/ Kapphahn, G.: Schallemissionsanalyse (SEA) bei experimentellen Tragwerksuntersuchungen, DGzFP- Fachtagung Bauwerksdiagnose in München, Jahr 1999, Seite 251- 256, DGzFP- Berichtsband 66
- /6/ DAFStb: Belastungsversuche an Betonbauwerken, Jahr 2000, Herausgeber: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
- /7/ BA 86/06: Advice notes on the non- destructive testing of highway structures, UK Highway Agency, Volume 3: HIGHWAY STRUCTURES - INSPECTION AND MAINTENANCE, Jahr 2006
- /8/ Watson, J.R., Holford, K.M., Cole, P.T., Davies, A.: W, BOXMAP – Non-Invasive Detection of Cracks in Steel Box Girders, University of Surrey 4th International Bridge Management Conference, Guilford- UK, year 2000, page 80- 87, ISBN 0727728547