

# Infrastruktur Monitoring: technische Lösungen und Beispiele

Michael HAEUSERER<sup>1</sup>, Thomas THENIKL<sup>1</sup>, Thomas DUSCHL<sup>1</sup>, Horst TRATTNIG<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Vallen Systeme GmbH, Schaeftlarner Weg 26a

Kontakt E-Mail: sales@vallen.de

**Kurzfassung.** Der tragische Bücken Einsturz in Genua im August 2018 hat der ganzen Welt deutlich vor Augen geführt, dass der bekannte, langjährige Investitionsstau bei langlebigen Infrastrukturen abgebaut werden muss. Bei Bauwerke wie Brücken und Tunnels kommt neben den Investitionen noch der Zeitbedarf für Konzeption und der Planung einer alternativen Verkehrsführung für den Zeitraum der oft mehrjährigen Bauarbeiten erschwerend hinzu. Zur Überbrückung des benötigten Zeitraums greifen Städte und Kommunen vermehrt auf Monitoring Lösungen für ihre maroden Bauwerke zurück um den Zustand der Bauwerke kontinuierlich zu erfassen und gegebenenfalls schnell Maßnahmen einzuleiten ohne die Bauwerke vorsorglich komplett zu sperren.

Neben Messgrößen wie Temperatur, DMS ect. wird vermehrt Schallemission als passives zerstörungsfreies Messverfahren nachgefragt. Die Methode eignet sich für permanente Überwachung und ist durch ihre Flexibilität an eine Vielzahl von Testobjekten anpassbar. Vallen System GmbH ist bei einer Vielzahl von Monitoring Projekten als Messtechnik Partner zusammen mit Dienstleistern, Ingenieur Büros, Städten und Kommunen beteiligt. Zahlreiche Studien und Vorversuche an realistischen Probekörpern, wie z.B Spannbetonträgern, und reale Belastungstests an Brücken haben die Anforderung an des Messsystem weiter geschärft. Die gesamte Messkette angefangen bei den Sensoren, deren Halterung und Kabel über die Datenaufzeichnung bis hin zur Software sind an die neuen Anforderungen adaptiert. Eine Vielzahl von externen Sensoren z.B. für Temperatur oder DMS etc. können zeitsynchron aufgezeichnet und gemeinsam mit den Schallemissionsdaten in der Vallen Software analysiert werden. Die Ergebnisse aus der Analyse werden dann auf einen Cloud-Server geladen und können mittels Web Browser in einem Dashboard visualisiert werden.

## Einführung

Im industriellen Umfeld ist Schallemissionsanalyse als zerstörungsfreies Prüfverfahren seit Jahren etabliert, dabei werden unter anderem Druckgeräte, Pipelines und Tanks geprüft [1]. Dabei stehen unter anderem Integritätstests, Leckage- und Korrosionsprüfungen im Fokus. Neben diesen Anwendungen steigt der Bedarf nach kontinuierlicher Überwachung von Strukturen und Prozessen, dabei rücken zivile Bauwerke wie Brücken und Tunnel immer weiter in den Vordergrund. Der langjährige Investitionsstau in die langlebigen Infrastrukturen hat zur Folge, dass bei einer Vielzahl von Bauwerken akuter Handlungsbedarf besteht und Planungs- und Bauzeiträume koordiniert werden müssen. Um die Verfügbarkeit der Infrastrukturen sicherzustellen wählen Betreiber oft unterschiedliche Inspektions- und Wartungsstrategien die auf verschiedenen Grundlagen beruhen.



Schallemission kann hier ein hervorragendes Werkzeug sein. Davies [2], Nakasa [3], Allevalo [1] und andere haben ebenfalls gezeigt, dass Schallemission eine geeignete Methode für kontinuierliche Überwachung ist.

Ziel der kontinuierlichen Überwachung ist es den aktuellen Systemzustand der Infrastruktur zu erfassen, weiter zu beobachten und Änderungen frühzeitig zu entdecken. Bei Brücken oder Tunnels mit Spannbetonbauweise treten häufig Schädigungen an den Spannstählen durch Korrosion auf, was zum Reißen der Spannglieder und dadurch zu einer Veränderung der Traglast des Bauwerks führen kann. Vorversuche an Spannbetonteilen, an denen Spannglieder künstlich getrennt wurden haben gezeigt, dass die durch den Riss freigesetzte Schallemission detektiert und der Riss identifiziert werden kann.



**Abb. 1.** Beispiel eines Vorversuchs zur Detektion von Spannstahlrissen an einem Betonkörper. Es wurden verschiedene Schallemissionssensoren und Vorverstärkungen getestet. Die Spannstähle wurden durchgeschnitten und über elektrochemische Korrosion „durchgerostet“

## **Anwendungsbeispiele für permanente Überwachung und deren individuelle Lösungen**

### *1.1 Rückblick auf eine Pilotstudie zur permanenten Überwachung eines Containerkrans*

Im Frühjahr 2017 wurde in einer einjährigen Pilotstudie zur permanenten Überwachung eines Containerkrans gestartet. Das Ziel der Pilotstudie war es herauszufinden ob Schallemission eine geeignete Methode ist um Containerkräne permanent zu überwachen und ob Schallemission Risse in der Kranstruktur detektieren kann.

Die Pilotstudie lief vom Frühjahr 2017 bis Frühjahr 2018 und konnte die oben genannten Ziele positiv beantworten. An der Studie war der Kranbetreiber, ein erfahrener Dienstleister und Vallen Systeme als Gerätelieferant beteiligt.

Der Containerkran wird in einem der wichtigsten internationalen Häfen der Welt eingesetzt und ist im 24/7 Betrieb, also rund um die Uhr im Einsatz um Containerschiffe zu be- und entladen. Der Kran ist seit einigen Jahrzehnten in Betrieb [6]. Der Betreiber des Containerkrans hat aus langjähriger Erfahrung mit dem Krantyp die sogenannten „tension bars“ als hot spots identifiziert, die im Betrieb die Hauptlast des Kranauslegers und der Container tragen.



**Abb. 2.** Beispiel von Containerkränen im Betrieb. Die Kranausleger sind teilweise hochgeklappt. "tension bars" sind bei einem Kran durch die weißen Pfeile gekennzeichnet [5]

Diese hot spots wurden mit Schallemissionssensoren ausgestattet und kontinuierlich überwacht. Die wasserdichten und robusten Sensoren wurden auf der Struktur angeklebt, mit Magnethaltern fixiert und über Kabel mit dem Messsystem verbunden. Das Messsystem und der Messrechner waren im Maschinenraum untergebracht und über eine mobile Netzwerkverbindung über Fernzugriff steuerbar. Im Laufe der Pilotstudie wurde die automatische Datenanalyse und das Alarmmanagement schrittweise verfeinert und angepasst. Um die Ziele der Pilotstudie im gesetzten Zeitraum zu erreichen hat der Betreiber einen Stahlträger (tension bar) mit einer Kerbe vorgeschädigt um eine Rissbildung bzw. -wachstum zu initiieren.

Das Vorgehen war erfolgreich und es wurde durch das Schallemissionssystem ein Alarm ausgelöst, der Defekt konnte detektiert an der Stelle der Kerbe geortet werden und durch andere NDT Verfahren bestätigt werden.

Die Pilotstudie hat gezeigt, dass Schallemission eine geeignete Methode für permanente Überwachung von kritischen hot spots ist!

## *1.2 Permanente Überwachung einer Spannbetonbrücke mit einer integrierten Monitoring Anlage*

Im Herbst 2018 wurde im Süd-Westen Deutschland eine Spannbetonbrücke mit einer Monitoring Anlage ausgestattet. Die Brücke steht zur Erneuerung an und soll während der Planungszeit permanent überwacht werden. Die Monitoring Anlage nimmt neben der Schallemission auch weitere Messgrößen wie Temperatur, Weg und Dehnung (DMS) auf. Schallemission und Temperatur werden in einem integrierten System aufgezeichnet, die DMS und Weg-Daten werden nachgelagert fusioniert und analysiert.

### *1.2.1 Hintergründe der Brücke und aktuelle Situation*

Die Spannbetonbrücke wurde innerhalb des Jahres 1950 fertiggestellt und überspannt die Donau. Sie ist 96m lang und die größte Spannweite ist 81,3m. Die Brücke hat bei 18m Breite 4 Fahrspuren und 2 Geh- bzw. Radwege.

An den Spannstäben der Brücke wurden Schäden durch Korrosion festgestellt. Die Schäden sind irreparabel wodurch ein Ersatzneubau der Brücke in Planung ist. An dem Projekt sind der Eigentümer/Betreiber der Brücke, ein Ingenieurbüro und Dienstleister und Vallen Systeme als Gerätelieferant beteiligt

### 1.2.2 Die integrierte Monitoring Anlage

Die Monitoring Anlage muss in der Lage sein, die Infrastruktur permanent zu überwachen. Dazu ist ein geeignetes Sensornetzwerk, Datenaufzeichnung und –analyse notwendig. Das Schallemissionssystem und die Signalanalyse müssen daher die Messdaten automatisiert aufzeichnen und analysieren, Änderungen im Systemzustand erkennen, schadensrelevante Merkmale extrahieren und bei der Überschreitung im Vorfeld definierter Schwellwerte Alarme auslösen. Dafür sind eine zuverlässige Messtechnik und ein geeignetes Sensornetzwerk notwendig. Das Sensornetzwerk ist an die dauerhafte Installation im Freien angepasst, es wurden Sensoren mit IP68 Schutzgrad verwendet. Die Sensoren wurden mit Halteplatten an der Betonoberfläche angebracht und mit einer Schutzhaube gegen Tierverschiss geschützt. Das AMSY-6 Schallemissionsmesssystem mit 36 Kanälen ist in einem Schaltschrank untergebracht, der im Widerlager der Brücke in 5m Höhe zum Schutz gegen Hochwasser aufgehängt ist. Der Schaltschrank beinhaltet neben dem Schallemissionsmesssystem auch den Messrechner, die Kommunikationseinheit für mobiles Netzwerk und zusätzlich Messtechnik mit denen Daten von 71 Temperatursensoren aufgezeichnet werden. Die Schallemissionsdaten und die Temperaturdaten sind zeitsynchronisiert und werden gemeinsam in der Vallen Analyse Software (VisualAE) analysiert. Durch diese gemeinsame Datenbasis ist es dem Ingenieurbüro, das die Anlage betreibt, möglich Informationen von unterschiedlichen Messsystemen einfach und schnell zu verarbeiten und zu korrelieren.

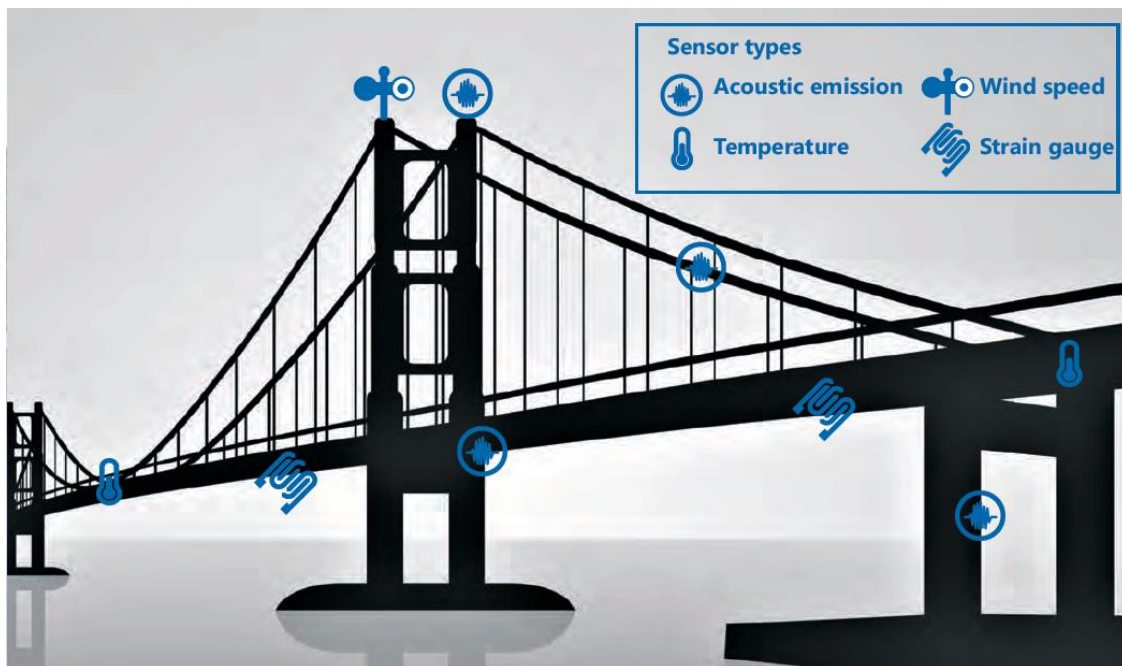


Abb. 3. Schematische Darstellung eines Sensornetzwerks einer integrierten Monitoring Anlage

### 1.2.3 Daten Zusammenführung

Aktuell werden Schallemissions- und Temperaturdaten gemeinsam in einem System aufgezeichnet, das System ist bereits für weitere Dateninputs ausgelegt um die immensen Vorteile einer gemeinsamen Zeitbasis aller beteiligten Messdaten zu nutzen. Eine umfangreiche Möglichkeit für digitale Filterung der Messdaten ist von Vorteil um mögliche Störeinflüsse aus den Messdaten zu eliminieren. Im Weiteren ist die Analysesoftware flexibel auf den aktuellen Anwendungsfall zugeschnitten. Wiederkehrende Aufgaben neben der Datenerfassung und Analyse laufen automatisiert und selbstständig über den Vallen Automation Manager [4]. Dazu gehört unter anderem: Steuerung und Überwachung des Schallemissionssystems, Alarmierung bei erfüllten Alarmbedingungen, Automatisierte Testabläufe z.B. Sensor Ankopplungstest sowie Fernzugriff und email Benachrichtigung. Neben dem Fernzugriff auf die Rohdaten und das Versenden von Nachrichten im Alarmfall extrahiert das Monitoring System regelmäßig aus den aufgezeichneten Schallemissions- und Temperaturdaten im Vorfeld abgestimmte Informationen als Entscheidungskriterien. Diese Informationen werden automatisch in ein cloud-basiertes Dashboard geladen und stehen dort als Übersicht über das System zur Verfügung. Neben den reduzierten Daten für das Cloud-Dashboard werden täglich die Rohdaten automatisiert auf einen Server zur weiteren Analysen geladen.

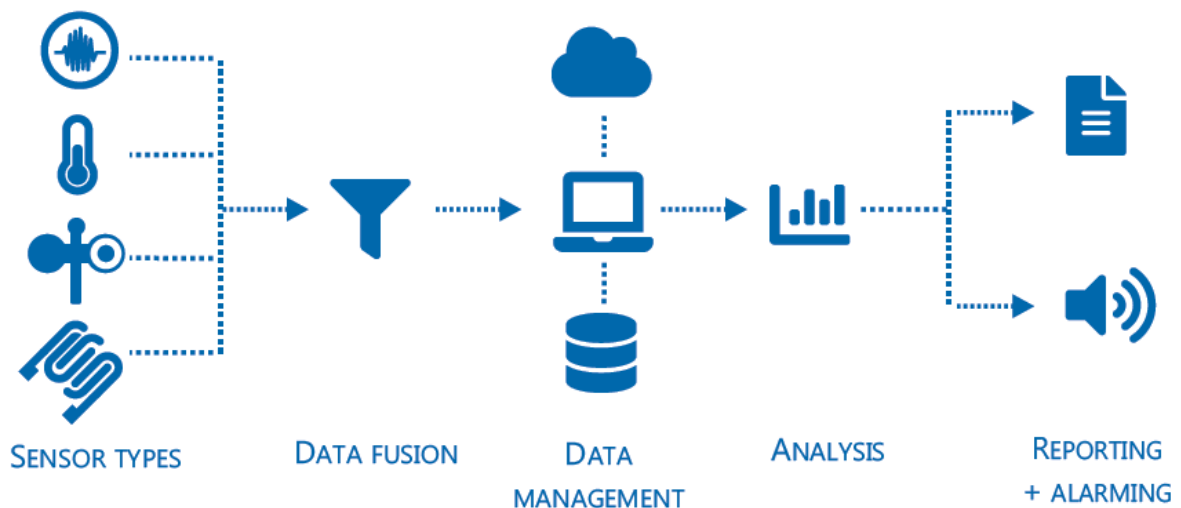


Abb. 4. Schematische Darstellung eines Monitoring Prozesses

### Zusammenfassung

Beide Beispiele verdeutlichen die Entwicklung der Monitoring Systeme bezogen auf wachsende Anforderungen und zeigen, dass die Schallemissionsmesstechnik heute bereits die Anforderungen für Permanent-Monitoring-Anwendungen erfüllt und flexibel auf sich ändernde Anforderungen reagieren kann. Die Kombination aus automatisierten Software und Analysetools, zuverlässiger Messtechnikhardware und selbstüberwachenden Sensornetzwerken bietet zudem die Flexibilität für verschiedensten Aufgabenstellungen.

Es hat sich weiter bestätigt, dass die Monitoring Anlage zwar autonom laufen kann und muss, aber die Rahmenbedingungen hierfür im Vorfeld geschaffen werden müssen. Beispielsweise sind eine zuverlässige Stromversorgung und eine stabile Kommunikationsinfrastruktur für den Fernzugriff Voraussetzung.

Die online Analyse muss durch erfahrene Dienstleister so aufgebaut werden, dass die Einflüsse der üblichen Betriebsbedingungen der Anlage auf die Schallemissionsergebnisse soweit bekannt sind, dass diese von den Nutzsignalen separiert werden können.

Der Prozess nach einem Alarm muss mit allen beteiligten Gruppen, Gerätehersteller, Dienstleister und Eigentümer/Betreiber der Infrastruktur eng abgestimmt sein. Die Visualisierung der aufbereiteten Ergebnisse und Zustände in einem Cloud-Basierten Dashboard am PC, Tablet oder Smartphone wird als Live-Reporting vom Eigentümer des Bauwerks aber auch vom Betreiber der Monitoring Anlage gerne genutzt.

Weitere Anforderungen werden an die Integration von weiteren Messtechniken gestellt, da Objekte wie Brücken und Tunnel von mehreren Blickwinkeln betrachtet werden.

## Referenzen

- [1] Claudio Allevalo, 'The use of acoustic emission testing on long term monitoring of damaged components', EWGAE 2010, 2010
- [2] Ray Davis, 'AE as a Basis for Plant Integrity Monitoring', Progress in Acoustic Emission III - The Japanese Society of NDI, 1986
- [3] Hiroyasu Nakasa and Hiroaki Sasaki, 'Long-term continuous monitoring of structural integrity of steel storage tanks', IAES 1998
- [4] Vallen Systeme GmbH, 'Vallen Automation Software user manual', 2013
- [5] CMA CGM Alexander von Humboldt (ship, 2013) 001.jpg, <https://commons.wikimedia.org>, downloaded on 30<sup>th</sup> of January 2017
- [6] Häuserer Michael, Horst Trattnig, 'Autonome AE Systeme: Optimierte Hard- und Softwarelösungen zur Unterstützung von Permanent Monitoring Anwendungen', 21. Kolloquim Schallemission 2017