

Spannkraftmessung an Stahlzuggliedern mit der magnetoelastischen Messmethode

Stress measurement at tensile elements by means of the magnetoelastic method

Wichmann, H.-J.; Holst, A.; Budelmann, H.

Abstract

Apart from the general state of the tendon or anchor the extent of the stress in the prestressed steel is of prime importance for the safety assessment of prestressed structures and/or anchor systems.

The methods existing until now (loading cells, strain gages etc.) are very complicated and expensive and offer, due to moisture or shock load etc., no measuring results of sufficient long-term stability.

Furthermore, only the stress in total, not, however, the stress of single wires or strands can be determined. Due to safety reasons it was necessary to develop a reliable, sturdy and competitive possibility to monitor the stress in prestressed steel elements of sensitive structures subjected to high demands as e. g. containments of nuclear power plants, tanks and bridges.

1. Einführung und Motivation

Am iBMB der TU Braunschweig wurde ein Sensor- und Messtechnikpaket zur zerstörungsfreien und monitoringgeeigneten Zustandserfassung an Spanngliedern entwickelt. Die zu überwachenden Eigenschaften bzw. Ereignisse sind lokale Dehnungen und Spannungen, eine mögliche Korrosionsaktivität bzw. Korrosionsschädigung sowie die Detektion und Ortung von Spannstahlbrüchen.

Hierbei kam auch das am iBMB entwickelte Verfahren zur Bestimmung der Vorspannkraft auf der Grundlage des magnetoelastischen Effektes zum Einsatz. Es wurde eine Messanlage mit über den Spannstahl geschobenen ringförmigen Spulensensoren entwickelt, die es ermöglicht, nach einer Initialkalibrierung durch gleichzeitige Messung mehrerer magnetischer Kenngrößen unter Ausnutzung des magnetoelastischen Effektes die Spannstahlkraft zu ermitteln, /1/. Hierdurch ist jetzt die direkte Spannkraftmessung am Bauwerk möglich.

Aufgrund der vielfältigen potentiellen Einsatzmöglichkeiten der Messmethode, z.B. auch im Maschinenbau und der Anlagentechnik, erschien es sinnvoll, diese Messmethode bis zur prototypischen Anwendbarkeit weiter zu

erforschen und weiter zu entwickeln. Aus diesem Grunde wurde die Messmethode zur Spannkrafterfassung im Rahmen eines Transferprojektes des Sonderforschungsbereiches SFB 477 weitergeführt.

2. Grundlagen

Der Begriff magnetoelastischer Effekt bezeichnet den Zusammenhang zwischen den mechanischen und magnetischen Eigenschaften ferromagnetischer Stoffe. Bei Belastung eines ferromagnetischen Materials, d. h. einer erzwungenen geometrischen Veränderung, ändern sich auch dessen magnetische Eigenschaften. Die magnetischen Kenngrößen eines ferromagnetischen Materials werden durch die sogenannte Hystereseschleife beschrieben. Die Hystereseschleife ergibt sich, wenn die magnetische Induktion B über der magnetischen Feldstärke H aufgetragen wird. Der Einfluss einer Zugspannung auf die Hystereseschleife ist in Abb. 1 dargestellt. Mit zunehmender Zugspannung wird die Hystereseschleife flacher, die Steigung der Hystereseschleife nimmt ab und der Betrag aller Kenngrößen wird kleiner.

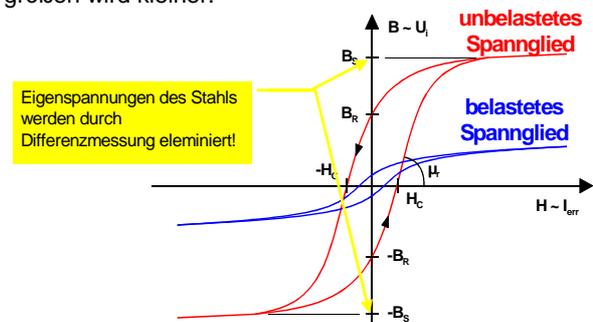


Abb. 1: Hystereseschleife unter Zugbeanspruchung

Das Messprinzip zur Messung der magnetischen Kenngrößen ist in Abb. 2 dargestellt. Hierbei dienen eine Spule zur Erregung des magnetischen Feldes und eine zweite Spule zur Aufnahme der Induktionsspannung. Beide Spulen umschließen das zur Kraftmessung anstehende Spannelement, das hierdurch die Funktion eines Spulenkerns übernimmt. Ein sinusförmiger Wechselstrom I_{err} wird vom Generator G in die Erregerspule eingespeist und die in der Induktionsspule induzierte Spannung U_i

gemessen. Die gemessenen Spitzenwerte der Induktionsspannung U_i sowie des Erregerstroms I_{err} ermöglichen dann die Berechnung der magnetischen Kenngrößen des Spannelementes. Die Spannstahlspannung kann mit der entwickelten Messanlage mit einer Messunsicherheit von ca. +/- 20-30 N/mm², d. h. ca. 2 % des Messbereichsendwertes, ermittelt werden, /1/.

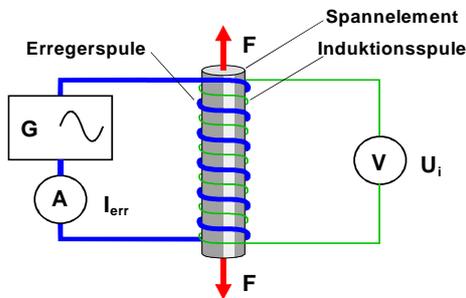


Abb. 2: Prinzipschaltbild zur Messung der magnetischen Kenngrößen

3. Der magnetoelastische Sensor

Für die Untersuchungen wurden magnetoelastische Sensoren mit verschiedenen Abmaßen entwickelt und gebaut. Eine der Aufgaben des Teilprojektes war es, das Design der magnetoelastischen Sensoren so anzupassen, dass die Produktion des Sensorträgers zu einem großen Teil maschinell erfolgen kann. Die Abb. 3 zeigt den Längsschnitt eines magnetoelastischen Sensors. Auf dem Spulenkörper aus Kunststoff befinden sich die Induktions- und die Erregerspule. Die Induktionsspule ist kleiner als die Erregerspule und wird vollständig von dieser umschlossen. Hierdurch wird gewährleistet, dass das von der Erregerspule erzeugte Magnetfeld die Induktionsspule vollständig durchsetzt. Der Sensor kann auch nachträglich eingebaut werden, /1/.

In Laborversuchen konnte gezeigt werden, dass durch Verschieben des Sensors auf dem Spannglied Kerben und Korrosionsstellen detektiert werden können, /1/.

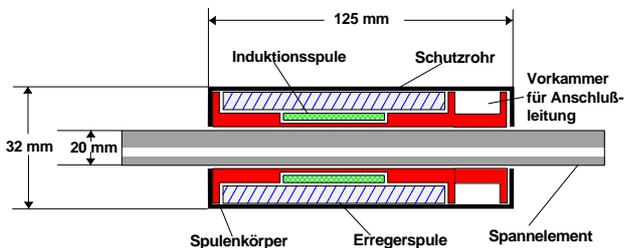


Abb. 3: Schnitt durch einen magnetoelastischen Sensor

Die Abb. 4 zeigt das Blockschaftbild des neuen Messsystems. Das überarbeitete Konzept sieht vor, dass entweder die zeitgleiche Erfassung von 4 Sensoren oder alternativ jeweils 2 von 24 Sensoren über einen Multiplexer

„teildynamisch“ möglich ist. Teildynamisch heißt hierbei, dass das Messsystem entweder einige ausgewählte Kanäle dynamisch oder alle statisch messen kann.

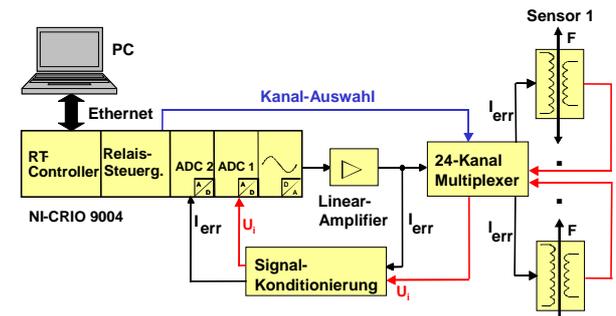


Abb. 4: Blockschaftbild des Messsystems zur Erfassung der Spannkraft

4. Bauwerksmessungen

Zur Langzeiterprobung von Sensoren und Messverfahren unter Praxisbedingungen wurde auf dem Gelände des iBMB der TU Braunschweig die Versuchsbrücke „Concerto“ erstellt. Diese Plattenbalkenbrücke wurde mit typischen Schwach- und Fehlstellen versehen. ME-Kraftsensoren sind an Einzellitzen an unterschiedlichen Stellen jedes aus drei vorgespannten Litzen bestehenden Längsspanngliedes appliziert worden. Die Abb. 5 zeigt die während des Vorspannvorganges und der nachfolgenden Langzeitüberwachung am „Concerto“ aufgezeichnete Kraft im oberen Längsspannglied. Deutlich ist der Abfall der Vorspannung nach dem Absetzen der Spannprelle zu erkennen.

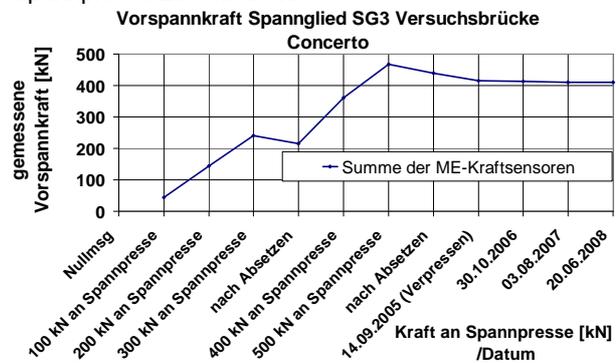


Abb. 5: Summe der am Spannglied SG3 gemessenen Litzenkräfte der Versuchsbrücke „Concerto“

Die drei Talbrücken Meinerzhagen, Trockau und Rümmecke wurden erfolgreich mit magnetoelastischen Sensoren zur Spanngliedüberwachung instrumentiert /1/.

5. Literaturverzeichnis

/1/ Budelmann, H.; Holst, A.; Wichmann, H.-J.: Magnetoelastische Spannkraftmessung in Bauwerken, Beton- und Stahlbetonbau (104) 2009, H.6, S. 330-339