

**Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und  
Kommunikation (UVEK)  
Bundesamt für Strassen (ASTRA)**

## **Zusammenfassung**

# **Zerstörungsfreie Untersuchung von grosser Stahlseile bei Schrägseilbrücken**

**Inspection non destructive de câbles d'acier de grand diamètre pour ponts  
haubanés**

**Non-destructive inspection of steel cables with large diameters for cable-  
stayed bridges**

**EMPA, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf  
Abteilung Ingenieur-Strukturen**

**A. Bergamini, dipl. Ing. ETH**

**R. Christen, dipl. Ing. FH**

**Forschungsauftrag AGB 2000/428 (93/00) auf Antrag der Arbeitsgruppe  
Brückenforschung (AGB)**

**Mai 2004**

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projektes wurde der Einsatz von magnetischen Methoden für die zerstörungsfreie Untersuchung grosser Stahlseile bei Schrägseilbrücken beurteilt und umgesetzt. Diese Aufgabe gliedert sich in zwei separate Problemstellungen. Einerseits handelt es sich um die freie Länge und andererseits um die Verankerungen solcher Systeme. Diese beiden Bereiche eines Schrägseils stellen unterschiedliche Anforderungen an die zu verwendende Prüfmethode.

In einem ersten Schritt, wurde die bereits vor einigen Jahren entwickelte, magnetoinduktive Methode zur Untersuchung der freien Länge von dünnen Stahlseilen, auch für grosse Durchmesser einsetzbar gemacht. Weiter wurde der Messvorgang sowie die Datenauswertung automatisiert. Die Anwendung eines analytischen Modells ermöglichte es, die Fehler-Position innerhalb des Seilquerschnittes, mit ausreichender Genauigkeit angeben zu können.

Als Ansatz zur zerstörungsfreien Untersuchung im Verankerungsbereich, wurde die Messung der magnetischen Reluktanz gewählt. Dies bringt zusätzlich praktische und logistische Vorteile mit sich, da Teile der Ausrüstung zur Untersuchung der freien Länge, auch für diese Bereiche eingesetzt werden können. Dieser Effekt wurde auf verkleinerten Modellen, mit Finite Element Berechnungen, sowie auf einer im Labor aufgebauten Schrägseilverankerung studiert. Sowohl Messungen als auch Berechnungen haben gezeigt, dass die Sensitivität ein zu beachtendes Problem darstellt. Die in den Modellen eingeführten Elemente, zur Schliessung des magnetischen Kreises, begünstigten den vorhandenen Effekt. Die praktische Umsetzung einer solchen Lösung scheint jedoch kommerziell nicht sinnvoll zu sein.

## Résumé

Le but du présent travail était d'évaluer les méthodes d'essai magnétiques non destructives en vue de leur utilisation pour l'inspection de câbles d'acier de grand diamètre pour ponts haubanés. L'inspection de ces câbles comprend deux parties distinctes soit celle de leur longueur libre et celle de la zone de la tête d'ancrage qui pose chacune des exigences fort différentes.

La première phase de ce projet a été consacrée au scale up d'une méthode magnéto-inductive développée pour les câbles de petit diamètre pour la rendre utilisable sur des câbles de grosse section. En plus de cela, le processus d'inspection lui-même ainsi que la méthode d'analyse des données a été automatisés dans une large mesure. Un modèle analytique du champ de fuite magnétique a été développé pour permettre de localiser les défauts sur la section du câble avec une précision suffisante.

Comme approche pour l'inspection de la zone de l'ancrage, on a choisit la mesure de la réluctance magnétique à l'extrémité des câbles. Cette approche présente un avantage pratique et logistique par le fait qu'elle permet d'utiliser une partie de l'équipement à la fois pour la longueur libre et pour la zone d'ancrage des câbles. Cette approche a été étudiée sur des modèles à petite échelle, sur des modèles numériques et finalement à l'échelle réelle sur un câble en laboratoire. Tant les mesures que les calculs ont montré que bien que cette méthode repose sur des principes physiques bien connus, sa sensibilité pose un problème important. Les modèles numériques montrent que l'introduction d'un élément venant fermer la boucle magnétique sur laquelle la réluctance est mesurée exerce un effet très favorable. Toutefois l'application pratique de cette méthode ne semble pas représenter une solution commercialement viable.

---

## Summary

The goal of the presented work was to assess and implement the use of magnetic methods for the nondestructive inspection of steel cables with large diameters for cable-stayed bridges. The inspection of stay cables can be divided in two distinct domains: the free length and the anchor head region. The requirements for the inspection of these two domains are quite different.

The first phase of the project was comprised of the scale-up of a magneto-inductive method that was previously developed for small diameter cables, to be used also for large sections. In addition to this, the inspection procedures as well as the data analysis methods were automated to a large extent. The use of an analytical model of the magnetic flux leakage field made it possible to determine the position of flaws within the cross section of a cable, with reasonable accuracy.

The measurement of the magnetic reluctance of the cable anchorages was the approach chosen for their inspection. This promising approach also presented the practical and logistic advantage that a number of components used for the inspection of the free length would be used also for the anchor head region. This approach was studied on small scale models, numerical models and finally on a full scale cable specimen in the laboratory. Both, measurements and calculations clearly indicate that, while the proposed method bases on sound physical principles, its sensitivity is an issue that needs to be addressed. Numerical models indicate that the introduction of an element that closes the magnetic loop on which the reluctance is measured, has very favorable effects. The practical implementation of such a solution however does not seem to represent a commercially viable solution.