

Langzeitmessungen im Staudamm- und Tunnelbau

Rainer Glötzl

09.12.2004

Das Thema der Langzeitmessung ist kein neues Thema, doch wurde dies teilweise aus Gründen der Mehrarbeit weniger oder etwas weniger beachtet.

Bei dem Symposium in Braunschweig ‚Messen in der Geotechnik‘ im September diesen Jahres haben wir in dieser Richtung sehr interessante Vorträge gehört – unter anderem von Herrn Prof. Heusermann, BGR Hannover, der durch FE-Berechnungen den Einfluss des E-Moduls des Bettungsmaterials untersucht und berechnet hat.

Die Berechnungen sind natürlich noch nicht abgeschlossen, wurden aber zur Ergänzung der Empfehlungen des AK 3.3 benötigt und eingesetzt und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Der Einfluss des E-Moduls in Bezug auf den Effekt des harten oder weichen Einschlusses ist relativ gering im Vergleich zum Einfluss der Geometrie des Sensorgehäuses. Hier ist der Bauhöhen/Durchmesser-Faktor von entscheidendem Einfluss auf die Unter- oder Überlesung. Ein Faktor von 1:10 oder 1:20 wie er in den Suggested Methods der ISRM genannt wird, ist durchaus ausreichend.

Durch die erste E-Modul-Berechnung des Belastungskissens des Sensors oder Gebers, wie von Prager in der Thèse Grenoble durchgeführt, können wir die genannten Ergebnisse höher ansiedeln. Das bedeutet, dass wir auch bei der Messung im Beton keine Unterlesung durch einen geringen E-Modul des Sensorgehäuses befürchten müssen. Natürlich sind außerhalb der Bettung auch die Einbauqualität und die 0-Messung von Bedeutung, jedoch wollen wir uns heute auf die Langzeitmessung konzentrieren.

Als Ausgangspunkt haben wir die Genauigkeiten des Belastungsbereichs - sprich Linearität und Hysteresis - welche im Labor erfasst werden. Die Reproduzierbarkeit ist dabei natürlich mit von entscheidender Wichtigkeit. Bei der Langzeitmessung müssen wir nun die Änderungen des 0 Punktes - also des Messsignals ohne Belastung - über die Zeit beobachten.

Diese Gedanken sind natürlich bei Kurzzeitversuchen von ein, zwei oder drei Jahren oder bei Versuchen, bei denen die Sensoren nach den Versuchen nachkalibriert werden können, von geringer Relevanz. Aufgrund unserer Erfahrungen möchte ich die verschiedenen Messsysteme in dieser Hinsicht behandeln und Vorteile - aber auch Grenzen - aufzeigen.

Als erstes die Betrachtung der hydraulischen Spannungsgeber, über welche wir bei dem Talsperrensymposium in Weimar diesen Jahres einen Vortrag gehalten haben. Es handelt sich um den Vortrag Neuschitzer/Glötzl mit dem Thema „Geotechnische Langzeitmessungen und -auswertungen an einem Schüttdamm mit Asphaltinnendichtung“.

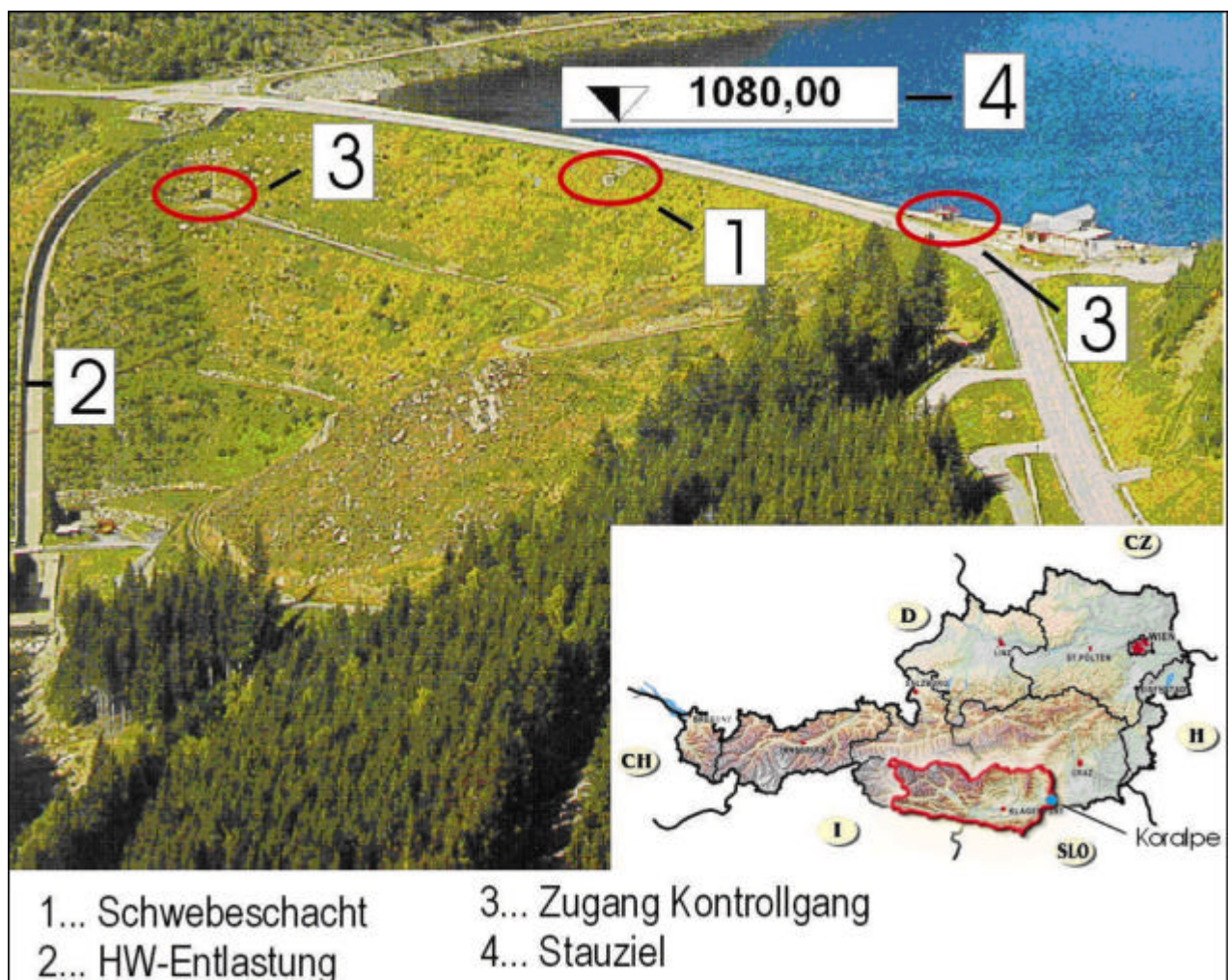


Abbildung 1: Luftseite der Sperre Feistritzbach

Aus dem hier gezeigten Schaubild können Sie die Druckentwicklung beim Messen eines solchen Gerätes ersehen und anhand der Differenz zur Öffnung und zum Schließen der Membrane sowie Kontrolle der Dichtigkeit lässt sich eine qualitative Bewertung des Signals durchführen.

Versuche beim Gepatsch-Damm in Österreich, bei welchem einige Geräte, die 40 Jahre arbeiteten, ausgebaut werden konnten, haben gezeigt, dass die 0-Punkte dieser Geräte vernachlässigbar waren.

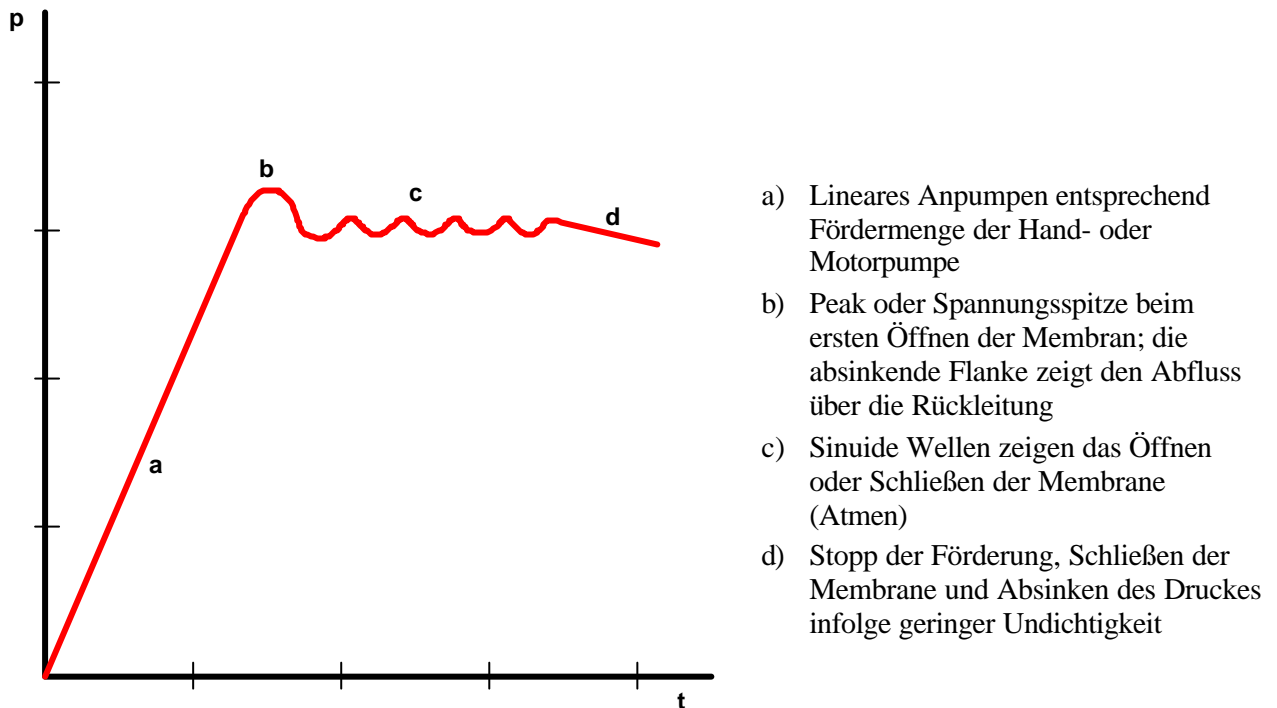


Abbildung 2: Pumpvorgang - Spannungsverlauf beim Messen

Aus der Abbildung Nr. 2 ‚Pumpvorgang‘ sehen wir einmal den linearen Druckanstieg in der Druckleitung bei geschlossener Membrane. Unter b) ‚peak‘ sehen wir das erstmalige Öffnen der Membrane, das Absinken des Druckes über die Flanke und damit die Zirkulation Druckleitung – Rückleitung.

Der Öffnungsdruck entspricht dem Kompensationsdruck der anliegenden Spannung. Die folgenden Wellen zeigen ebenfalls Kompensationswirkung. Der letzte Abschnitt zeigt einen Abfall des Druckes infolge geringer Undichtigkeit der Membrane.

Der Messwert wird in den Tälern der sinuiden Wellen (Tiefpunkt) entnommen.

Bei den elektrischen Sensoren gibt es auch die Möglichkeit oder Idee, über eine Belastungsleitung einen Druck von außen stufenweise aufzubringen. Dies resultiert in einer Überprüfung der Kalibrierkurven – allerdings nur in Bezug auf die Steigung dieser Kurven. Der 0-Punkt oder dessen eventuelle Drift werden dadurch nicht erfasst.

Die bisherigen Untersuchungen sehen das Problem mehr in der Drift des 0-Punktes als in der Änderung der Steigung der Geraden.

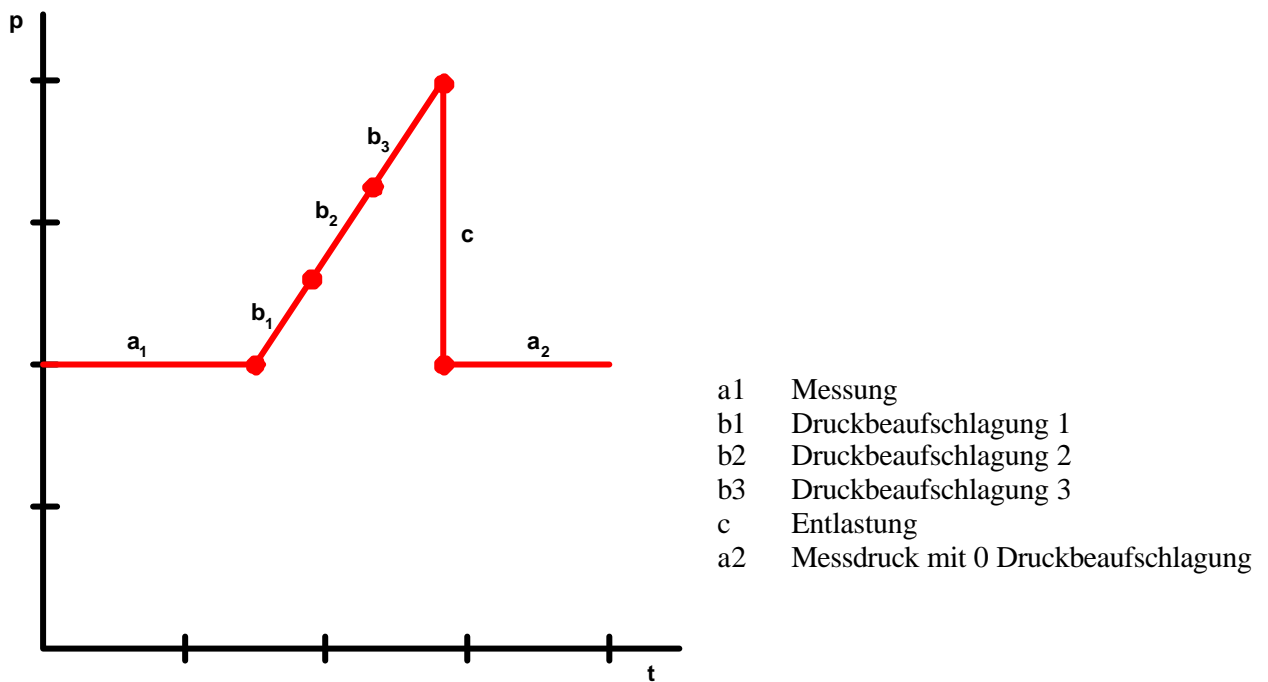


Abbildung 3: Sensor mit Druckbeaufschlagung

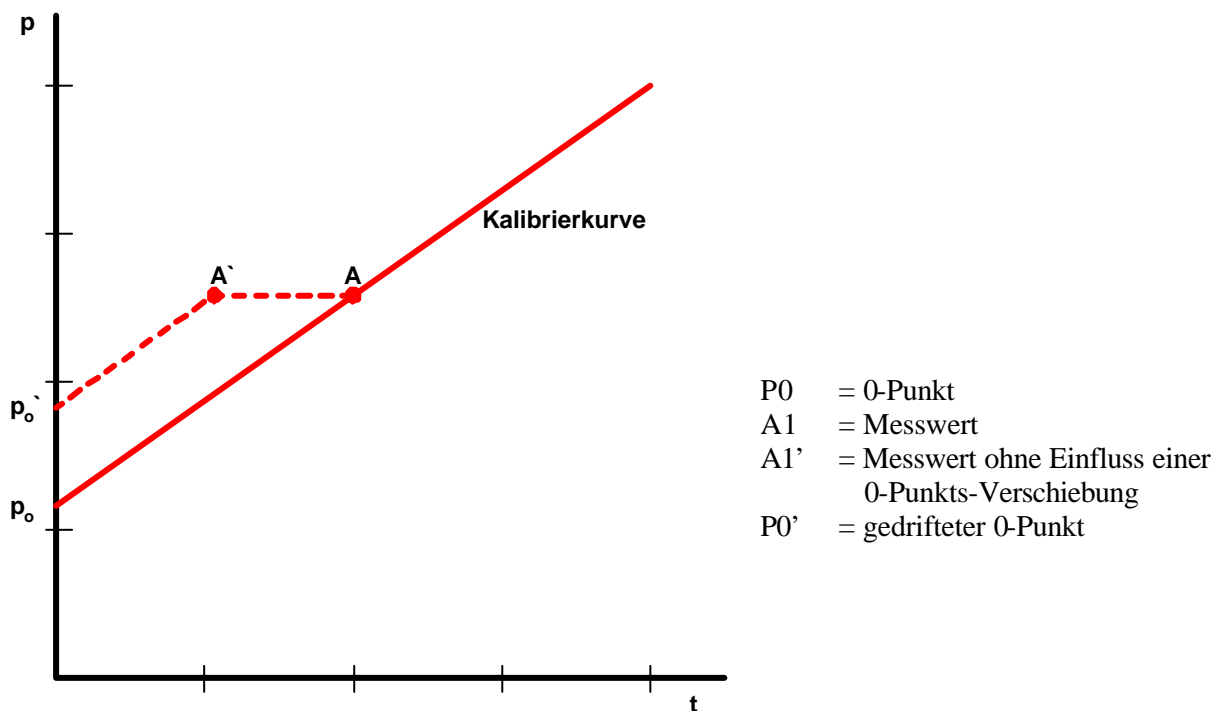


Abbildung 4: Kalibrierkurve

In der Abbildung ‚Kalibrierkurve‘ ist der Messwert A_1 eingetragen. Sie können daraus ersehen, dass der driftende 0-Punkt die Messwerte völlig falsch erfassen lässt und dadurch keine Messung über Langzeit - sprich Jahrzehnte - möglich ist ohne eine Redundanz oder eine sonstige Kontrolle.

Ein weiteres System sind die Sensoren mit Schwingender Saite, die bei entsprechend sorgfältiger Alterung und Entlastungszyklen inklusive Temperaturzyklen eine überlegene Langzeitstabilität haben. Allerdings ist ein Driften nach 10 – 20 Jahren durchaus möglich und auch registriert worden.

Es gab einmal die Idee mit sogenannten 0-Punkts-Gebern, d. h. mit Sensoren, die in Styropor eingepackt im Dammkörper installiert wurden und aufgrund dieser Einbauform keine Auflast bekommen haben. Diese wurden benutzt, um die 0-Punkts-Drift sozusagen direkt zu messen. Die Idee wurde nicht erfolgreich realisiert, da die 0-Punkts-Drift bei gespannten Saiten oder auch bei weniger gespannten Seilen sich bei Belastung unterschiedlich ausbilden und sich besonders Relaxation resp. Nachkriecheffekte sich über die Dauer gezeigt haben.

Bei Spannseilen eines Kernreaktormantels haben wir nach Ablauf von ca. 25 Jahren ein Nachlassen der Vorspannung zwischen 15 % und 25 % festgestellt. Die einzelnen Seile wurden jeweils mit einem Ankerkraftmessgeber ausgestattet und gemessen. Zur Verifizierung wurden die Kraftmessgeber nach Beendigung der Messaufgabe ausgebaut und im Labor nachkalibriert.

Noch eine Bemerkung zur Schwingenden Saite: hier haben wir schon beinahe die Notwendigkeit der Alterung, die wie wir bereits angedeutet hatten, auf keinen Fall – aufgrund kurzer Lieferzeiten – vernachlässigt werden darf, da bei relativ jungen Systemen der Alterungseffekt enorm ist und die Messung im Grunde genommen bedeutungslos wird.

Bei diesem Gerät und bei anderen ist natürlich auch die Idee der Redundanz wichtig und hilfreich. Wenn es also gelingt, mit zwei unterschiedlichen Systemen die Werte aufzunehmen, so ist dies zwar mit höheren Kosten, aber auch mit ungleich höherer Qualität verbunden.

Bei Pfahlfußmessungen haben wir aus diesen Gründen ein Twin-Output-System, bei welchem wir den hydraulischen Innendruck des Belastungskissens mit zwei unterschiedlichen Druckumsetzern messen:

- ein elektrisches System für die tägliche Messung
- ein hydraulischer Druckumsetzer lediglich alle 3 – 6 Monate zur Kontrolle

Auch wenn der hydraulische Druckumsetzer weniger elegant ist und weniger Auflösung hat, so ist er doch in Bezug auf die Langzeitstabilität eine sichere Größe und man kann Drifteffekte des elektrischen Druckumsetzers damit überwachen, kontrollieren und berücksichtigen.

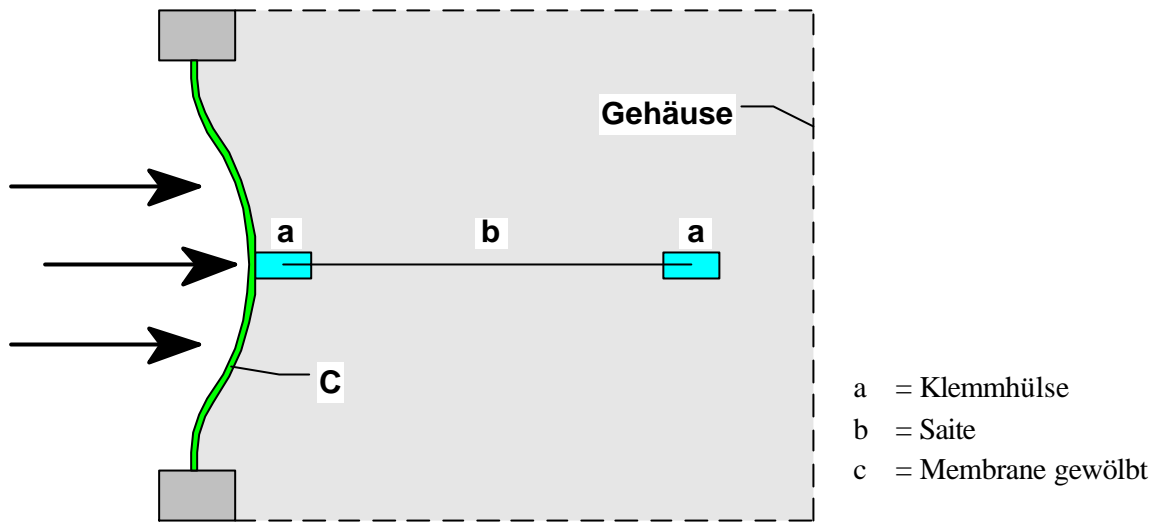


Abbildung 5: Sensorkopf mit Membrane

Beim Sensorkopf mit Membrane sehen Sie die Auswölbung unter Volllast, die aus Gründen der Relaxation auf 10 μm begrenzt wird.

Bei dem nun vorgestellten System des Interferometers Fabry-Pérot haben wir lediglich eine Auslenkung von 2 bis 3 μm . Dadurch wird natürlich die Gefahr des Nachkriechens reduziert. Das Prinzip zeigt die Abbildung 6 ‚Messsystem des Sensors‘.

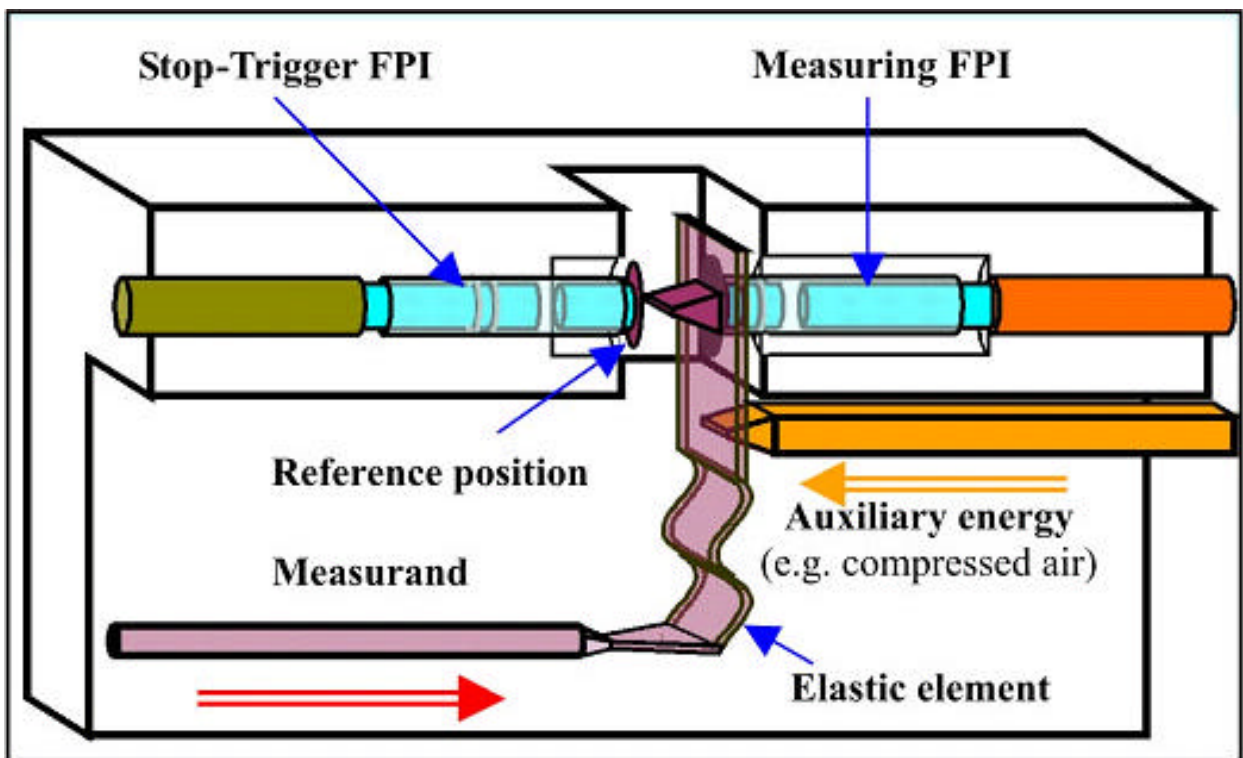


Abbildung 6: Scanning principle using fibre Fabry-Pérot sensors

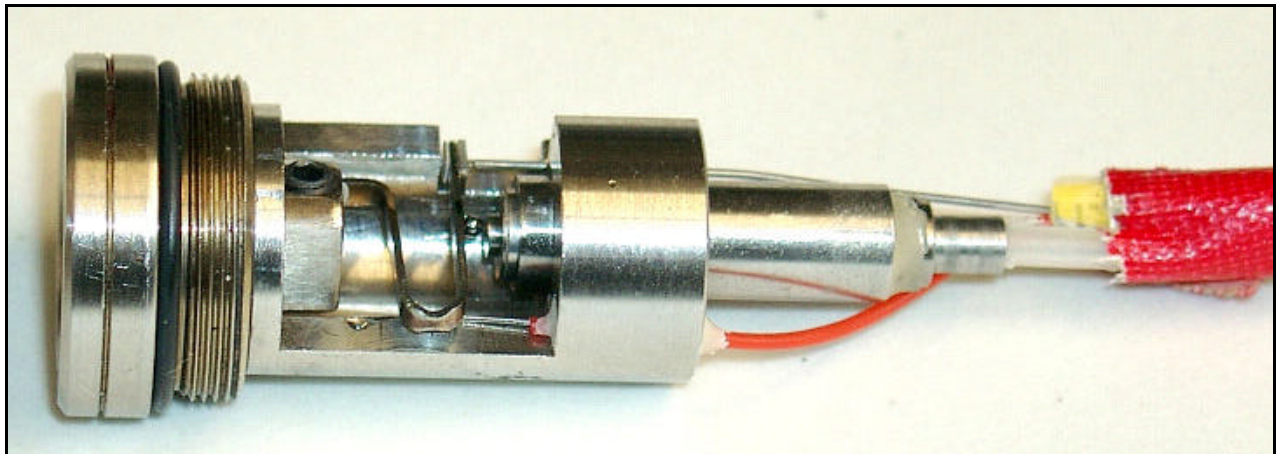


Abbildung 7: Fotografie des Sensorkopfs

Das Neue an diesem System ist nicht nur ein faseroptischer Sensor, der eine sehr gute Auflösung hat, sondern neu ist, dass wir ein frei bewegliches Interferometer auf den Ausgangspunkt zurückschieben – also ein Reset durchführen – und danach diese Faser mit Druckluft wieder zur Membrane heranschieben. Wir erreichen dabei folgenden Effekt:

Zum einen gehen wir auf eine jeweilige Ausgangsposition zurück und haben damit einen sogenannten 0-Punkt. Beim langsamen Ausfahren können wir die Anzahl der Interferenzstreifen erfassen und abzählen und haben somit das Problem der Notwendigkeit der Online-Messung, die nicht immer möglich ist, gelöst.

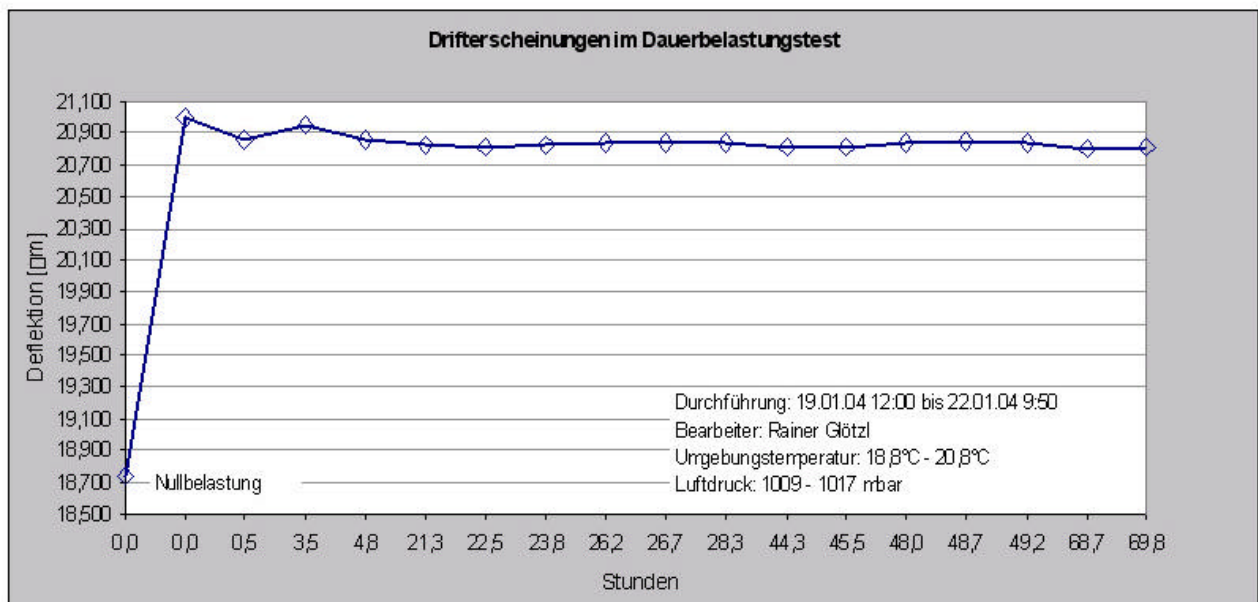


Abbildung 8: Nullpunktsentwicklung über die Zeit

Abbildung 8 zeigt die 0-Punkts-Änderung der Membrane resp. des Interferometers. Diese Untersuchungen sind inzwischen im 14. Monat und bislang ist eine 0-Punkts-Drift nicht erkennbar. Allerdings haben wir noch Wiederholgenauigkeiten zu lösen, da der frei bewegliche

Arm des Interferometers in der Kapillarröhre anscheinend Einkerbungen erfährt und sich dann wie ein Kolben ruckartig bewegt. Wir können das Problem lösen, wir können allerdings auch diese Bewegung erfassen und berücksichtigen, was kein großes Problem zu sein scheint.

Ich möchte abschließend betonen, dass diese meine Gedanken nicht bedeuten sollen, dass wir ab jetzt verrückte Forderungen an Messgeräte stellen, die nur teilweise erfüllbar sind, sondern es geht darum, sich vielleicht über gewisse Phänomene im Klaren zu sein.

Ich kann mich gut erinnern an Diskussionen mit der EDF in Sisteron in den Zentralalpen, bei welchen wir die Ergebnisse der Barrage de Sainte Croix and andere besprochen haben und in Grunde genommen nur sagen konnten, ob wir das Ergebnis glauben oder nicht. Plausibilitätsbetrachtungen sind natürlich immer möglich, aber sicherlich keine befriedigende Lösung.

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit.

Rainer Glötzl

Glötzl Gesellschaft für Baumesstechnik mbH
76287 Rheinstetten - Forlenweg 11 - Germany
Tel: 0721 / 51 66 -0 – Fax: 0721 / 51 66 -30
Email: info@gloetzl.com – www.gloetzl.com