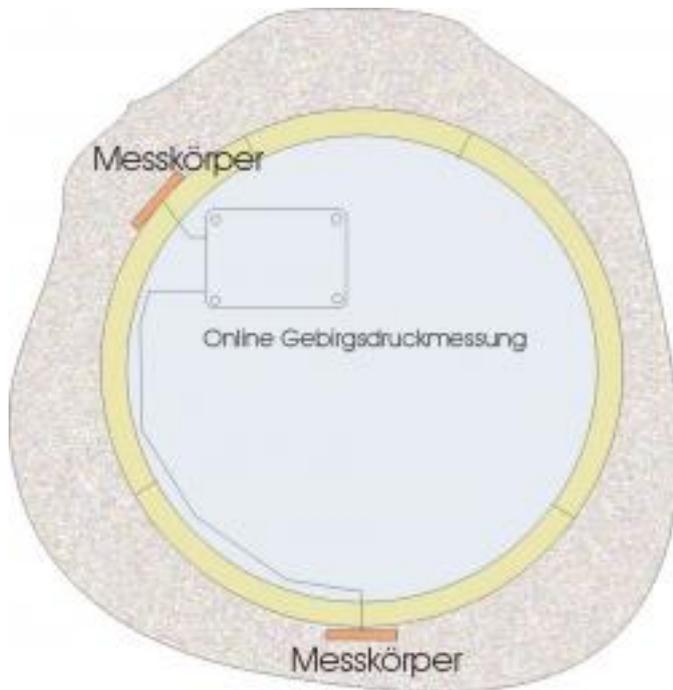


## Anwendungsmöglichkeiten der on-line Gebirgsdruckmessung beim Tunnelbau

Datum: 06.04.2009 - 17:50

Kategorie: [Industrie, Bau & Immobilien](#)

Pressemitteilung von: [IBJ Technology](#)



(openPR) - Die messtechnische Nutzung des akusto-elastischen Effektes ermöglicht qualitativ und quantitativ neue Überwachungsmethoden beim Bau und beim Betrieb von Tunnel. Als Beispiel für mögliche Anwendungen können Tunnelbaue mit hohen Überlagerungen bzw. großen Gebirgsdruckerscheinungen genannt werden, bei denen schon während der Bauzeit, die Krafteinleitung der wirkenden Kräfte der Tunnelbohrmaschine in das den Tunnel umgebende Gebirge, gemessen werden kann.

### 1. Messtechnische Grundlagen der on-line Gebirgsdruckmessung

Diese neuartigen Anwendungen des akusto-elastischen Effektes für die Belange des Tunnelbaues werden von mehreren relevanten Patentschriften erfasst:

Vorrichtung zur Ermittlung der Gebirgsspannung in einem Bohrloch - DE102005047659B4

Verfahren und Vorrichtung zur Früherkennung von Bauwerksschäden - DE102006053965A1

Vorrichtung und Verfahren zur Lastmessung an Lagern von Bauwerken - DE102007014161A1

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Gebirgsspannung – DE102008037127.0

Die Messgröße ist in allen Anwendungen die Laufzeit eines Ultraschallimpulses in einem homogenen Messkörper, beispielsweise aus Metall. Vorteilhafterweise ist dieser Messkörper eine quaderförmige Metallplatte mit einer PVDF-Folie. Die Krafteinleitung erfolgt auf und damit auch durch diese Metallplatte.

Die Krafteinleitung lässt sich als eine mechanische Spannung in der Metallplatte messen. Als Messgröße steht eine Laufzeit zur Verfügung, die umgekehrt proportional zur mechanischen Spannung in der Platte ist.

Der akusto-elastische Effekt beschreibt den Einfluss von Spannungszuständen auf die Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Ultraschallwellen im Messkörper. Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten werden dabei in folgender Form beschrieben, in der

die Materialdichte, der Elastizitäts- und Schubmodul (elastische Konstanten II. Ordnung) sowie die elastischen Konstanten III. Ordnung als materialspezifische Kennwerte und die drei Komponenten des orthogonalisierten Drucktensors, bzw. die drei Hauptspannungen als Zustandsparameter des Messkörpers eingehen.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwellen, die sich innerhalb der Platte des Messkörpers ausbreiten, wird hochauflösend mit TDC-Schaltkreisen gemessen.

Beim Einsatz von Metallen werden diese Forderungen weitestgehend erfüllt. Die Adaption der Ultraschallwandler in oder an metallische Körper ist leicht möglich.

Die Krafteinleitung des Gebirgsdruckes über die Außenflächen in die Messkörper mit der Metallplatte und die damit verbundene Spannungsänderung wird messtechnisch als Laufzeitänderung erfasst.

Die Messung der Laufzeit der Ultraschallimpulse, d.h. die Ermittlung der Schallgeschwindigkeit ist mit einem oder mehreren Ultraschallsensoren möglich. Dabei kann ein Sensor als Sender und Empfänger arbeiten und eine oder mehrere Reflexionen des Ultraschalls an der Wandung der Messstrecke auswerten. Auch zwei oder mehrere Ultraschallsensoren, d.h. getrennte Sender und Empfänger, können vorteilhaft verwendet werden.

Der akusto-elastische Effekt kann sowohl durch die Messung der longitudinalen (Schub-) Welle als auch durch die Messung der transversalen (Scher-) Welle, oder durch Auswertung der Veränderung beider Wellen erfolgen.

Es gilt die Reversibilität zwischen Ausdehnung und Stauchung.

Das Hooksche Gesetz gilt nur für den Elastischen Bereich.

$s$  (Spannung) =  $E$  (E-Modul) \*  $e$  (Dehnung)

Die Ultraschalleiter aus Metall erfüllen das Hooksche Gesetz.

Die Änderung der Schallgeschwindigkeit ist neben der Abhängigkeit von der einwirkenden mechanischen Spannung auch von der Temperatur abhängig.

In der Praxis stellt sich der Temperatenausgleich zwischen Messkörper und umgebendem Bauwerk ausreichend schnell ein. Größere Temperaturschwankungen sind im stationärem Einbau in Tunnel, konkret im Ringraum zwischen Tübbing und Gebirge, nicht zu erwarten. Bei Anwendungen, wo mit einer wechselnden Umgebungstemperatur zu rechnen ist, sind Temperaturmessungen zur Kompensation denkbar und sind leicht im Messkörper implementierbar.

Durch das elastische Verhalten der Messstrecke zwischen den Ultraschallsensoren wird auch die Länge der Messstrecke verändert.

Da bekannt ist, dass zum Beispiel die Änderung der Schallgeschwindigkeit durch die Einwirkung einer mechanischen Spannung (Stauchung der Messstrecke) dreimal so groß ist, wie der Einfluss der reinen Längenänderung (die durch diese Spannung oder Krafteinwirkung auf die Messstrecke entsteht) auf die Schallgeschwindigkeit, kann durch die Messung der Schallgeschwindigkeit, eine ausreichend genaue Ermittlung der Spannung innerhalb des Messkörpers erfolgen.

Erfolgt die Laufzeitmessung der Ultraschallwellen in den Messkörpern ohne Mehrfachreflexion und mit Ultraschallquellen hoher Frequenz, können Laufzeiten mit geringer Streuung gewonnen werden. Vorteilhaft werden dazu PVDF-Folien verwendet. Die breitbandigen PVDF-Folien sind für Laufzeitmessungen besonders gut geeignet.

Sollen Belastungen von nur einigen MPa gemessen werden, muss die Auflösung unter 0,1 ns liegen.

Zur Erfassung von Lastumlagerungen (oder auch Spannungsumlagerungen) in der Größenordnung 100 kPa und kleiner muss die Auflösung der TDC-Schaltkreise durch Mittelwertbildung über viele Einzelmesswerte erreicht werden.

## 2. Anwendungsfelder der on-line Gebirgsdruckmessung

Nachweis für den statischen Verbund zwischen Tübbing und Gebirge bei der Nachverpressung des Ringspalt bei langen Tunnelvortrieben.

Als Beispiel für mögliche Anwendungen der on-line Gebirgsdruckmessung beim Tunnel- bzw. Schachtausbaues seien

Schächte und Stollen mit hohen Überlagerungen bzw. großen Gebirgsdruckerscheinungen bei Alpentransitrouden genannt. Messung sehr langsam sich aufbauender Gebirgsdrucke in Gesteinen mit hoher Verformbarkeit und Porenwasserdruck. Beim Auftreffen solcher Gesteine können beim Tunnelbau sehr große und langanhaltende Verformungen auftreten. Versucht man diese Verformungen durch einen steifen Ausbau zu hemmen, so entsteht ein hoher, sogenannter echter Gebirgsdruck in Superposition mit Porenwasserdruck, welcher den Ausbau zerstören kann. Die langen, tiefliegenden Tunnel durch die Alpen verleihen dem Problem des Tunnelbaues in druckhaftem Gebirge besondere Bedeutung. Das Messprinzip der on-line Gebirgsdruckmessung ist unabhängig von der Wassersättigung der Umgebung. Langzeitbeobachtung der Lastaufnahme der Tunnelröhre bei Spannungsumlagerungen im Gebirge.

Herkömmliche Beobachtungen der Tunnelröhre erfassen nur Verformungen des Bauwerkes. Diese geotechnische Verformungs- oder Verschiebungsmessung lassen sich nur über die relativen Lageveränderungen einzelner oft zum Teil nicht sichtbarer Punkte untereinander bestimmen. Dazu müssen diese an geodätisch bestimmte Punkte angehängt werden. Mit der on-line Gebirgsdruckmessung kann die Spannungsmessung nicht nur im Gebirge erfolgen, sondern es kann direkt die Lastaufbringung unabhängig an jedem dafür eingerichteten Messpunkt auf den Tübbing gemessen werden. Messung der Kräfte zwischen den Tübbingen und Gebirge und den Tübbingen selbst.

Beim Tunnelvortrieb mit einer Gripper-TBM werden die Vortriebspresenkraft und das Drehmoment des Bohrkopfes über die Verspannung der Gripper-Plattenpaare in den Fels abgetragen. Werden dies Pratzten zum Beispiel mit Messkörpern zur Lastmessung ausgerüstet ist die Krafteinleitung in das Gebirge in den Pratzten direkt messbar. Eventuelle Nachgiebigkeiten im kraftaufnehmenden Gebirge können so direkt gemessen werden.

Die Anordnung von Messkörpern zwischen den Tübbingen ermöglicht die Messung der Abtragung der zum Vorschub notwendigen Kräfte einer TBM mit Schild. Die Vorschubpresenkraft kann dabei über den bereits fertiggestellten Tübbingausbau abgetragen werden. Die Orientierung der Platten der Messkörper wird dabei um 90° gedreht. Soll die Aufnahme der Querkräfte überwacht werden, bietet sich der Einbau der Messkörper im Ringspalt zwischen dem Tübbingausbau und der Ausbruchslaibung an. Werden dabei Tübbinge mit Anschlüssen für Drucksensoren zur Messung des Verpressdruckes des Verfüllmediums verwendet, kann durch diese Öffnung die Anschlussleitung für die Messkörper verlegt werden. Ebenso kann mit der on-line Gebirgsdruckmessung die Krafteinleitung in das Gebirge bei Kurvenfahrten der TBM überwacht werden.

### 3. Ausblick zur Anwendung der on-line Gebirgsdruckmessung als Bestandteil eines Tunnelmonitoring

Im Tunnelbau bildet die Überwachung der aller möglichen Einwirkungs- und Strukturparameter während der Bauphase und des Betriebs die Basis für die Zustands- und Sicherheitsanalyse des Bauwerkes. Die mit unterschiedlichen geotechnischen Methoden erfassten Daten stellen die Grundlage zur numerischen und mechanischen Modellbildung dar. Die maßgebenden Werte der in die Modellbildung einfließenden Parameter können nur aus felsmechanischen Werten gewonnen werden. On-line Messverfahren zur Kraft und Lastmessung, speziell Spannungsmessungen, sind in ihre Aussagekraft und Aktualität nicht zu ersetzen. Die meisten Festigkeits- und Verformungswerte aus Laboruntersuchungen werden bisher unzureichend nur mit aktuellen Verformungswerten verknüpft.

Mit der on-line Gebirgsdruckmessung können die bisher nur modellhaften Parameter, wie der Einfluss der Viskositäten des umgebenden Gebirges auf die Standfestigkeit des Ausbaues, mit geringem Aufwand gemessen werden und kann damit die Verifizierung aller bisherigen Modelle wesentlich verbessern.

Aus messtechnischer Sicht ist auch der Einsatz von RFI-Technik denkbar. So könnten Messkörper mit flächenhaften Antennen oder Induktionsspulen zur Energieversorgung der Ultraschalleinheiten hinter den Tübbingen angebracht werden. Damit wird der Einbau der on-line Gebirgsdruckmessung ohne Verletzung der druckwasserdichten Tunnelröhre ermöglicht.

IBJ Technology, Ingenieurbüro Jäger  
Colkwitzer Weg 7  
04416 Markkleeberg

Dipl.-Ing. (TH),Dipl.-Ing.ök. Frank-Michael Jäger  
Tel.:0341 3380 172  
Mail: fmj@ibj-technology.de

Web: [www.ibj-technology.de](http://www.ibj-technology.de)

Im Januar 2003 wurde ibj-technology als Partner der Industrie für die Belange der Prozessmesstechnik gegründet.

Inhaber des Ingenieurbüros für innovative Messtechnik ist Herr Dipl.-Ing. (TH), Dipl.-Ing.-Ök. Frank-Michael Jäger.

Unsere Tätigkeit und damit unsere Erfahrungen in der Prozessmesstechnik für anspruchsvolle Anwendungen begründen sich auf eine über 15-jährige Tätigkeit im Projektmanagement und Entwicklung in Forschungseinrichtungen der Energiewirtschaft, der Erdgasindustrie und des Bergbaues.

Die praktische Anwendung von Messprinzipien und Sensortechnologien unter schwierigsten Einsatzbedingungen wird durch eine über

12-jährige Beratungstätigkeit zum Einsatz und der Anwendung von Industrieller Messtechnik zum Nutzen der Kunden in allen Bereichen der Wirtschaft ergänzt.

Als unabhängiger und zuverlässiger Partner der Industrie bieten wir umfassende Lösungen in allen Fragen der Prozessmesstechnik.

Besonders mit anspruchsvollen Anwendungen der Ultraschalltechnologie können wir mit neuen Lösungen Ihre Probleme beheben.

Viele innovative Lösungen für Messaufgaben in den unterschiedlichsten Branchen wurden in den in einer Vielzahl von Patenten und Gebrauchsmustern geschützt.

Die Zufriedenheit der Auftraggeber, fachkundige Qualität sowie wirtschaftlich vertretbare Lösungen der anfallenden Aufgaben sind das oberste Ziel unserer Tätigkeit.

[Diese Pressemitteilung finden Sie Online hier](#)