

Prof. Dr. Boris Resnik (Beuth Hochschule für Technik Berlin)  
 Realisierung von kontinuierlichen Deformationsmessungen  
 mit geodätischen Sensoren an der Kanalbrücke des  
 Wasserstraßenkreuzes Magdeburg

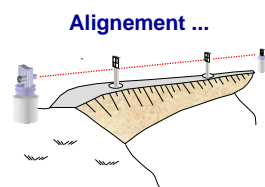
VNA Magdeburg, Vortrag am 24.04.2009

**Deformationsmessungen mit geodätischen Sensoren**

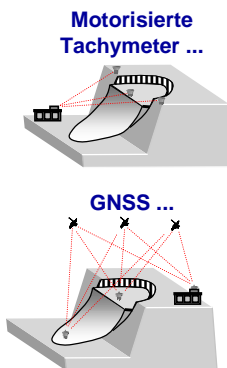
Grundlegende Aufgabe geodätischer Überwachungsmessungen ist es, einen Nachweis über die Bewegungen und Verformungen eines Messobjekts in Raum und Zeit zu erbringen.

... 1/Jahr 1/Monat 1/Tag 1/Stunde 1/Minute 1 Hz ...

Ablauf der Deformation (Frequenz/ Periode)

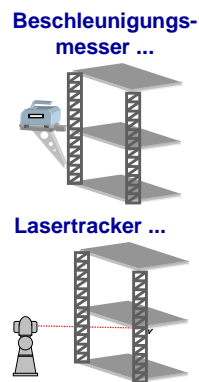


Alignement ...



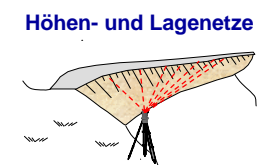
Motorisierte Tachymeter ...

GNSS ...



Beschleunigungs-  
messer ...

Lasertracker ...



Höhen- und Lagenetze

Inspektionsmessungen

Kontinuierliche Überwachung

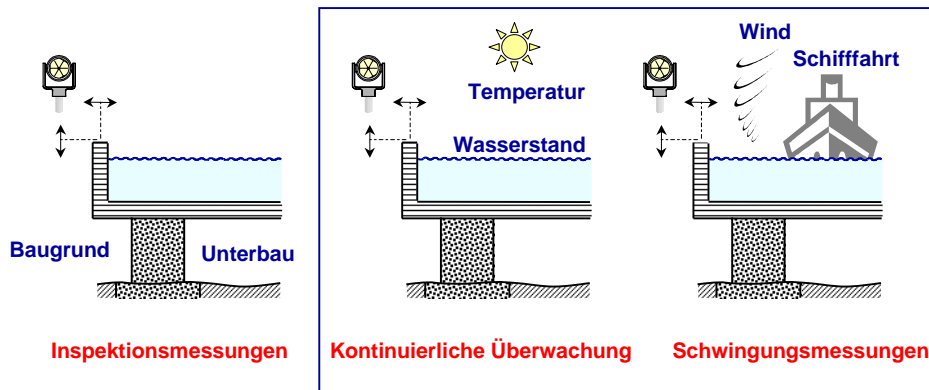
Schwingungsmessungen



## Deformationsmessungen mit geodätischen Sensoren an der Kanalbrücke des Wasserstraßenkreuzes Magdeburg

... 1/Jahr 1/Monat 1/Tag 1/Stunde 1/Minute 1 Hz ...

Ablauf der Deformation (Frequenz/ Periode)



3

"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009

## Verfahren von kontinuierlichen geodätischen Deformationsmessungen

Durch die rasante Entwicklung der Mikroelektronik können die „klassischen“ geodätischen Instrumente im Routinebetrieb ohne einen Bediener auskommen und Messwerte mit hohen Abtastfrequenzen und hohen Genauigkeiten liefern.

	Verfahren	Genauigkeit	Messfrequenz
	Digitalnivellier	< 1 mm (h)	unter 0,3 Hz
↓			
	Tachymeter	2-3 mm (X,Y) 2-3 mm (X,Y)	unter 10 Hz
↓			
	GNSS	2-3 mm (X,Y) 5-10 mm (h)	unter 20 Hz
↓			
	Neigungssensor	0,01 mrad	unter 10 Hz

Digitalnivellier

Neigungssensor

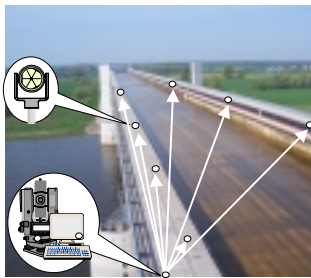
4

"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009

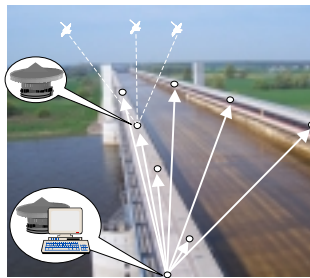
## Monitoring mit geodätischen Sensoren

Eine wichtige Zielsetzung des Monitoring ist die Gewinnung von relevanten Aussagen über bestimmte Eigenschaften und Verhalten des Untersuchungsobjektes. Die geforderten Aussagen beziehen sich dabei meist auf Funktionalität, die Standsicherheit oder die Gültigkeit von Modellannahmen. Obwohl die klassischen periodischen Überwachungsverfahren auch als ein Teil des Monitoring angesehen werden können, liegt sein Schwerpunkt in den kontinuierlichen Messungen unterschiedlicher Art.

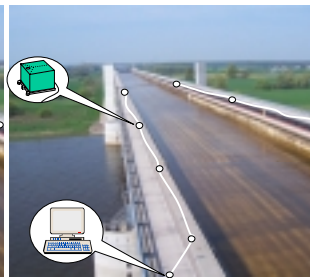
Monitoring mit einem motorisierten Tachymeter



Monitoring mit mehreren GNSS-Antennen



Monitoring mit mehreren Neigungssensoren

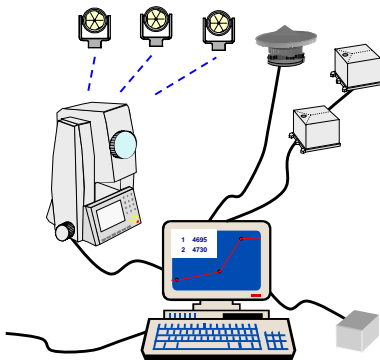


5

"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009



## Computerprogramme für automatisierte Dauerüberwachung



**Merkmale eines Computerprogrammes für automatisierte Dauerüberwachung:**

- kontinuierliche und gleichzeitige Erfassung von Messdaten unterschiedlicher Herkunft;
- Aufbereitung von Messergebnissen, Datenverwaltung vor Ort;
- Regelmäßige Übertragung von gespeicherten Daten an den Überwachungsrechner des Betreibers;
- Auslösen des Alarmes bei den Grenzwertüberschreitungen mit geeigneten technischen Mitteln.

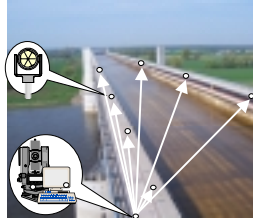
Programm	Anbieter	Informationen (Stand 2008)
GeoMos	Leica Geosystems	<a href="http://www.leica-geosystems.com">http://www.leica-geosystems.com</a>
GeoMonitor	Solexperts AG	<a href="http://www.solexperts.com">http://www.solexperts.com</a>
IGM	intermetric	<a href="http://www.intermetric.de">http://www.intermetric.de</a>
GOCA	GeoNav GmbH, FH Karlsruhe	<a href="http://www.goca.info">http://www.goca.info</a>
4D Control	Trimble	<a href="http://www.trimble.com">http://www.trimble.com</a>

6

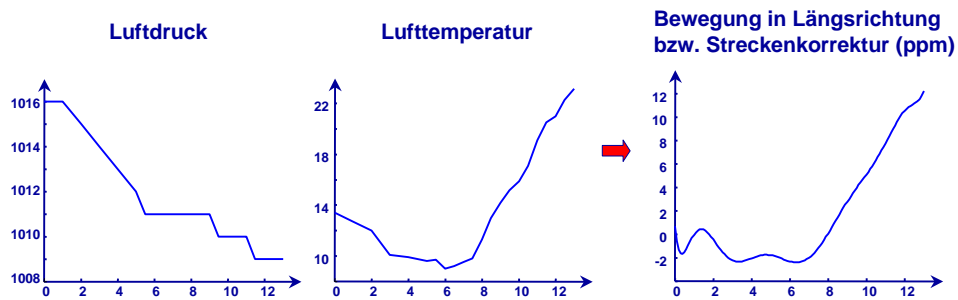
"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009



## Trennung von Deformationen und sensorbedingten Änderungen

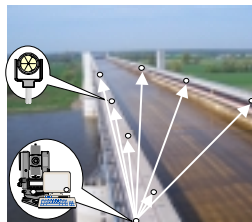


Bestimmte Störeffekte können durch unbekannte Prozesse im Sensor selbst oder durch Atmosphäre verursacht werden sein. Entscheidend für die zutreffende Beurteilung des Deformationsverhaltens von Bauwerken bei einem Monitoring ist die Trennbarkeit zwischen den tatsächlich Deformationen und Effekten, die durch die Mess- und Auswerteverfahren induziert werden.

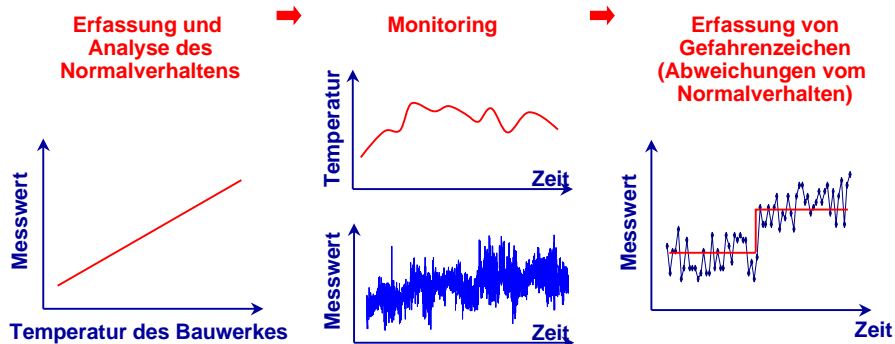


7 "Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009

## Berücksichtigung des Normalverhaltens



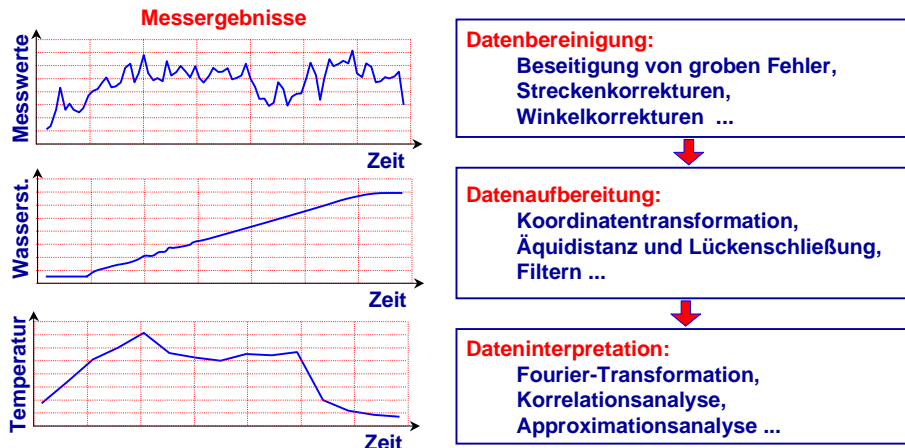
Erste Gefahrenzeichen bei den kontinuierlichen Überwachungsmessungen können nur dann rechtzeitig und "fehlerfrei" erkannt werden, wenn das erwartete Normalverhalten des Bauwerkes gut bekannt ist.



8 "Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009

## Auswertung und Analyse von kontinuierlichen Deformationsmessungen

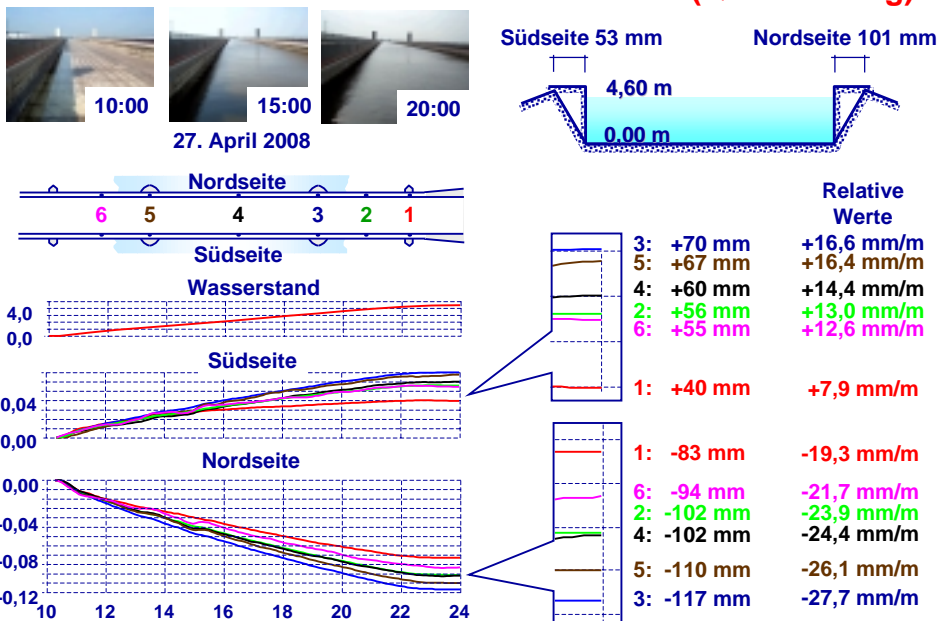
Die Anzahl der Realisierungen bei kontinuierlichen Deformationsmessungen kann leicht Hunderttausend Werte übersteigen. Die Auswertung erfordert umfangreiche mathematische Kenntnisse und kann unter Umständen sehr zeitaufwendig sein.



9

"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009

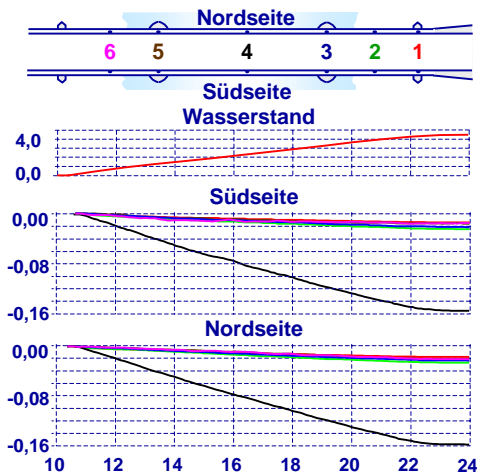
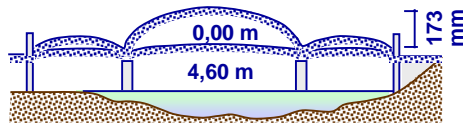
## Deformationen beim Füllen der Kanalbrücke (Querrichtung)



10

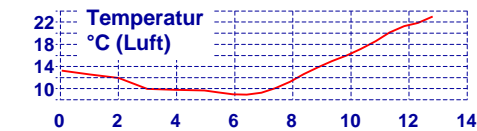
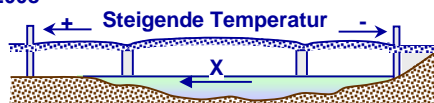
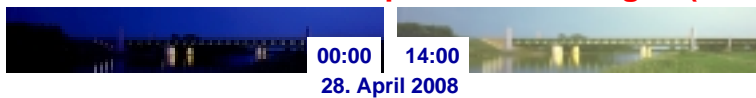
"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009

## Deformationen beim Füllen der Kanalbrücke (Höhe)



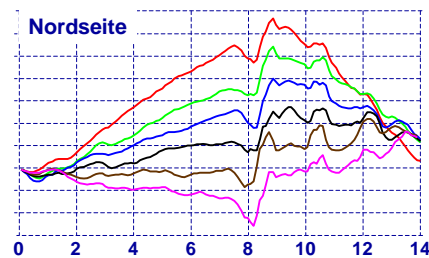
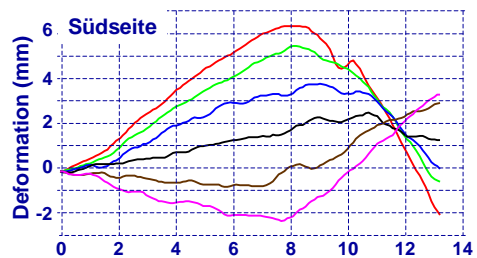
Relative Werte	
1: -15 mm	-3,5 mm/m
6: -16 mm	-3,1 mm/m
5: -17 mm	-4,0 mm/m
3: -23 mm	-5,5 mm/m
2: -26 mm	-6,1 mm/m
4: -159 mm	-39,7 mm/m
1: -17 mm	-3,8 mm/m
6: -21 mm	-5,3 mm/m
5: -21 mm	-5,2 mm/m
3: -23 mm	-5,8 mm/m
2: -27 mm	-6,4 mm/m
4: -159 mm	-40,6 mm/m

## Deformationen bei Temperaturänderungen (Längs)

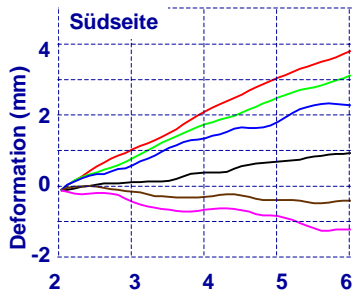
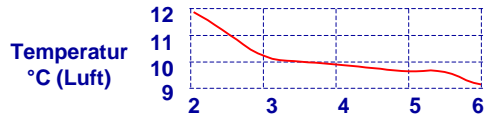


1: 8,0 mm	1: 6,9 mm
2: 5,8 mm	2: 5,9 mm
3: 3,7 mm	3: 4,6 mm
4: 2,6 mm	4: 3,1 mm
5: 3,6 mm	5: 3,0 mm
6: 5,4 mm	6: 4,2 mm

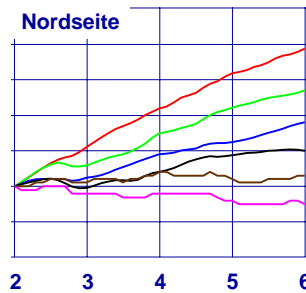
Temperatur Differenz: 13,6°C



## Deformationen bei Temperaturänderungen (Längs)



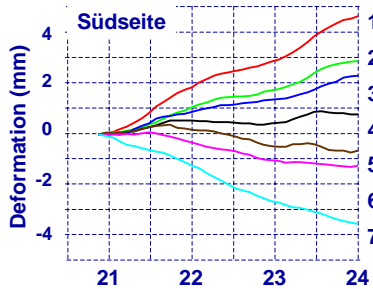
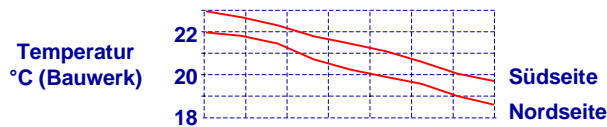
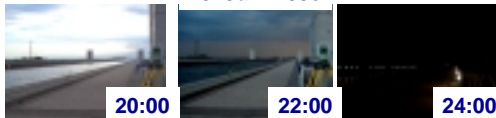
- 1: 1,5 mm/C°
- 2: 1,2 mm/C°
- 3: 0,9 mm/C°
- 4: 0,4 mm/C°
- 5: 0,2 mm/C°
- 6: 0,4 mm/C°



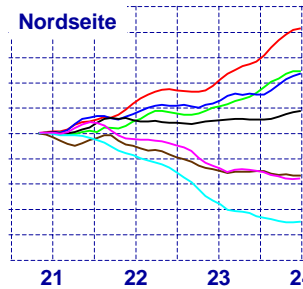
- 1: 1,5 mm/C°
- 2: 1,0 mm/C°
- 3: 0,6 mm/C°
- 4: 0,4 mm/C°
- 5: 0,1 mm/C°
- 6: 0,2 mm/C°

## Deformationen bei Temperaturänderungen (Längs)

19. Juni 2008



- 1: 1,2 mm/C°
- 2: 0,7 mm/C°
- 3: 0,6 mm/C°
- 4: 0,2 mm/C°
- 5: 0,6 mm/C°
- 6: 0,7 mm/C°
- 7: 1,3 mm/C°

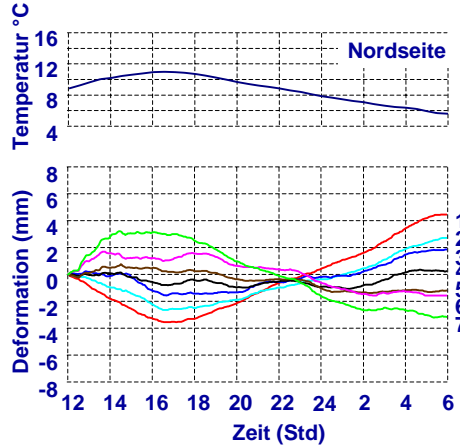
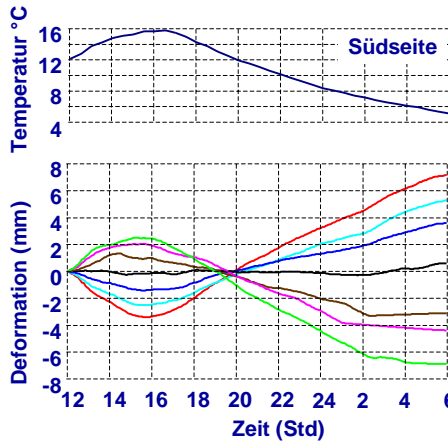


- 1: 1,5 mm/C°
- 2: 1,0 mm/C°
- 3: 0,7 mm/C°
- 4: 0,2 mm/C°
- 5: 0,3 mm/C°
- 6: 0,5 mm/C°
- 7: 1,2 mm/C°

## Deformationen bei Temperaturänderungen (Längs)

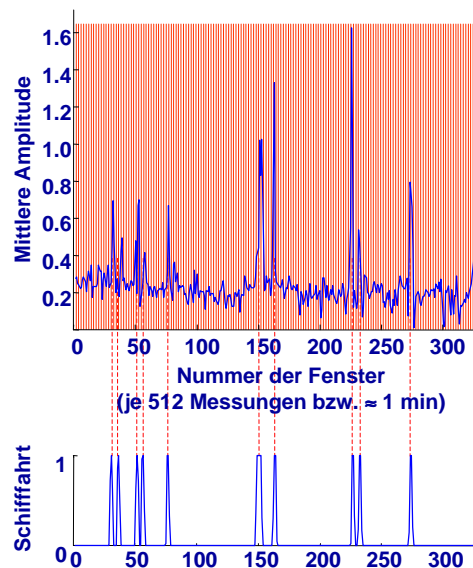
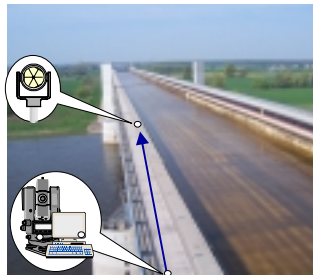


23. Oktober 2008



## Analyse von Schwingungen mit der Kurzzeit-Fourier-Transformation

Durch Beschränkung auf die klassischen geodätischen Messverfahren mit maximalen Abtastfrequenzen bis etwa 10 Hz, wird die Erfassung schnell ablaufender periodischer Bewegungsvorgänge mit Frequenzen bis etwa 5 Hz möglich.





## Monitoring von Bauwerken mit Schwingungsmessungen

Structural Health Monitoring (SHM, Überwachung des Zustands von Strukturen) ist eine Methode, um kontinuierlich Anhaltspunkte über die Funktionsfähigkeit von Bauteilen und Bauwerken zu erhalten. So sollen Schädigungen, z.B. Risse oder Verformungen, frühzeitig erkannt werden, um Gegenmaßnahmen einzuleiten.



Kistler



Metra



Zigler



PCB

### Periodische Messungen

Schwingungsmessungen werden in regelmäßigen Abständen durchgeführt (meist jährlich) und mit den Werten der Basismessung verglichen. Zeigen sich in den Ergebnissen außergewöhnliche Verschiebungen, so können deren Ursachen genauer untersucht sowie entsprechende Korrekturmaßnahmen ergriffen werden.

### Permanente Überwachung

Schwingungsmessungen werden in einem oder mehreren charakteristischen Punkten mit den dauerhaft installierten Messsystemen durchgeführt. Diese Systeme zeichnen in regelmäßigen Intervallen Messdaten auf, die anschließend z.B. über ein Modem abgerufen werden können.

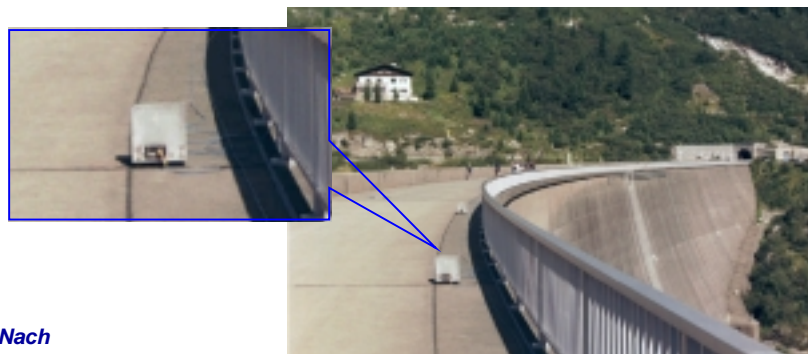
17

"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009



## Realisierung von periodischen Messungen

Jedes Bauwerk schwingt nicht nur auf Grund der einzelnen Einwirkungen von dynamischen Lasten, sondern auch auf Grund der immer vorhandenen mikroseismischen Erscheinungen usw. Durch Anwendung eines hochempfindlichen Beschleunigungsaufnehmers können diese kleinen Schwingungen aufgezeichnet und analysiert werden.



Nach

[www.vce.at](http://www.vce.at)

Vienna Consulting Engineers – Technische Universität Wien

Untersuchungen anlässlich des Abbruchs ausgewählter Tragwerke

18

"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009

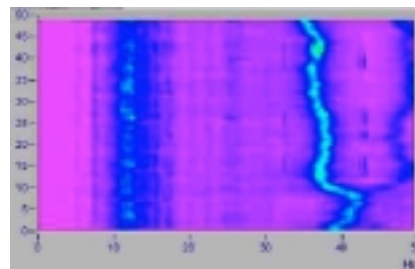
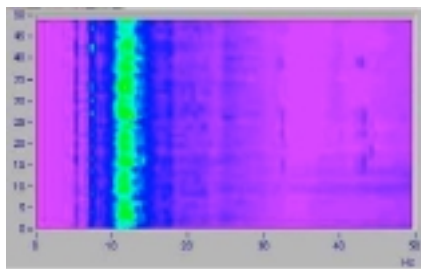


## Früherkennung von Schäden mit Schwingungsmesstechnik



Nach [www.vce.at](http://www.vce.at)

Bereits der Ausfall eines Kabels ist in Trendkarten deutlich nachweisbar. Eine Schädigung wird lange Zeit vor Eintreten visueller Schäden (Rissbildung, Durchbiegung usw.) erkennbar.

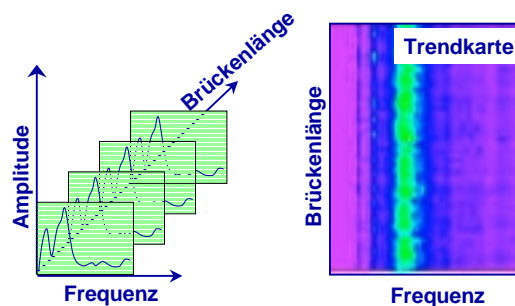
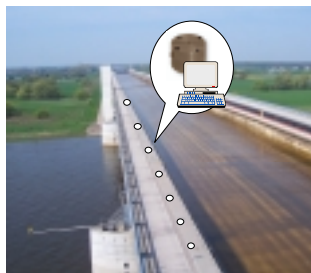


19

"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009



## Vorschlag zur Realisierung von periodischen Messungen an der Kanalbrücke

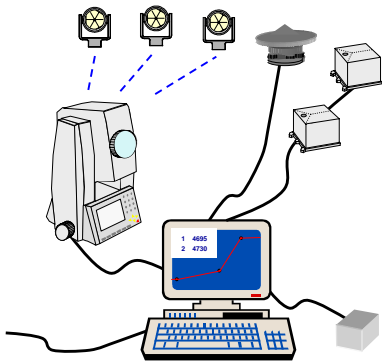


Die erfassten Trendkarten stellen ein Signal im Frequenz-Zeitbereich dar, wobei aus Gründen der Anschaulichkeit eine zweidimensionale Flächendarstellung gewählt wird. Die Ergebnisse (Frequenzspektren) mehrerer Messungen werden dabei ausgewertet, zusammengeschoben und von oben betrachtet. Durch diese Art der Darstellung sind Veränderungen in den Spektren bereits in der Anfangsphase sichtbar.

20

"Kontinuierliche Deformationsmessungen", WNA Magdeburg, 22.04.2009





**Diese Erfindung wird wenig  
Auswirkungen haben,  
weil es zu wenig Leute gibt, die lesen  
können.**

**(Aus dem Kommentar des Mainzer Stadtrats  
zur Erfindung des Buchdrucks, 1450)**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!  
Für Fragen und Anregungen bin ich immer unter  
[resnik@beuth-hochschule.de](mailto:resnik@beuth-hochschule.de)  
zu erreichen!**

