

## Hydrostatische Messsysteme für Deformationsmessungen in der Ingenieurgeodäsie

geomETH  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand  
ETH Zürich

### Hydrostatische Systeme - statische Anwendungsbeispiele

geomETH  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand  
ETH Zürich

### Hydrostatische Systeme - dynamische Anwendungsbeispiele

Anwendungsbeispiel für den Einsatz einer mobilen Schlauchwaage

geomETH  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand  
ETH Zürich

### Einsatzgebiete von elektrischen Schlauchwaagen

- Kontinuierliche automatische Messungen zur Überwachung von Deformationsprozessen an Bauwerken, Staudämmen, Brücken und Fundamenten
- Beobachtung und Überprüfung von Setzungen bei Bauvorhaben in der Nähe bestehender Gebäude
- Warnsystem zur Schadensfrüherkennung und -vermeidung. (Kritische Situationen werden durch Grenzwertmeldungen sofort erkannt. Es bleibt genügend Zeit um geeignete Sicherungsmaßnahmen einzuleiten.)
- Feststellen von Setzungen, die durch dynamische Beanspruchungen in Industrieanlagen hervorgerufen werden, z.B. an Kranfundamenten oder an Lagerstellen
- Nachweis von Bergschäden und Gebirgsbewegungen im Bergbau
- Beobachtung von Setzungen in landwirtschaftlich genutzten Böden und deren kontinuierliche Überwachung bei der Regeneration
- hochpräzise, kontinuierliche Überwachung der Höhenkomponente an Teilchenbeschleunigeranlagen



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

### Hydrostatische Systeme - Gerätebeispiele

Messbereich: 100 mm  
Genauigkeit:  $\pm 0,01$  mm  
Innendurchmesser: 42 mm  
Schlauchlänge: 50 m



Freiberger  
Präzisions-  
schlauchwaage

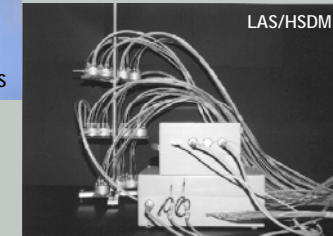


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand



HLS

Messstellen: bis zu 192  
Sensoren: pro Messstelle 1  
Messbereich: 15 mm  
Genauigkeit:  $\leq 2$   $\mu$ m



LAS/HSDM

Messstellen: 15  
Sensor: 1  
Messbereich: 100 mm  
(abhängig vom Drucksensor)  
Genauigkeit:  $\pm 0,1$  mm

### Grundlagen

Ermittlung  $\blacklozenge$  relativer Höhenunterschiede  $\blacklozenge$  Neigungen mit höchster Genauigkeit

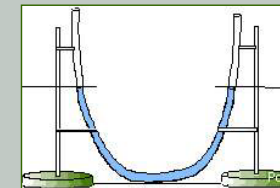
- Hohe Genauigkeiten nur erreichbar bei entsprechenden Umgebungsbedingungen z. B. Messungen in abgeschlossenen Räumen mit gleichem Temperaturgradienten, gleichem Luftdruck an jeder Messstelle
- Für ingenieurgeodätische Anwendungen:  $\sigma_{\Delta H} = 0,01$  mm bis  $0,02$  mm



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

### Die Schlauchwaage

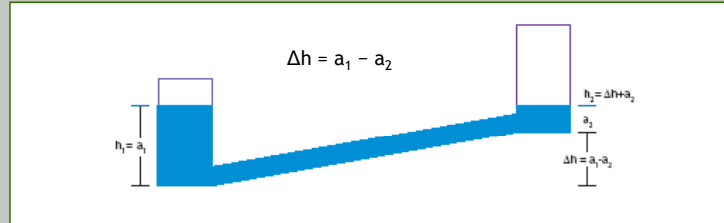


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

### Grundlagen

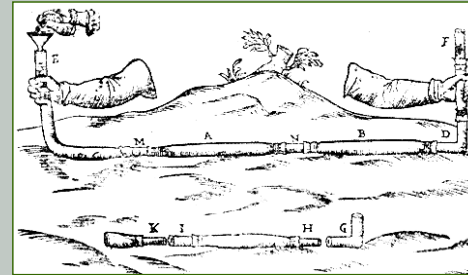
Der Höhenunterschied wird durch Ablesung der Füllstände in beiden Endgefäßen bestimmt



### Physikalische Grundlagen

$$p = \rho g h$$

Basierend auf dem Prinzip der kommunizierenden Röhren

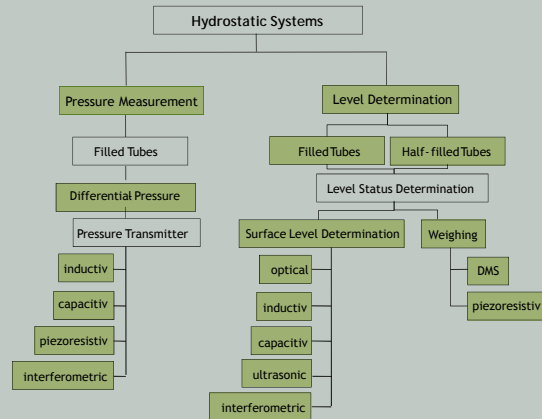


$$p = \rho g h$$

- $\rho$ = Dichte der Flüssigkeit [ $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ]
- $v$ = Geschwindigkeit der Flüssigkeit [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
- $p$ = Druck [1 mbar=100 Pa]
- $g$ = lokale Schwerebeschleunigung [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
- $h$ = Vertikalkomponente [m]

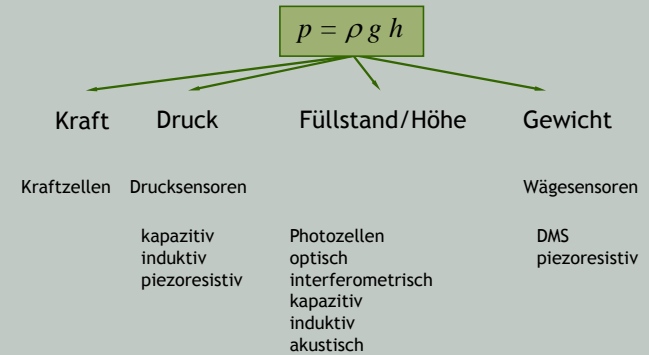
### Struktur hydrostatischer Mess-Systeme

$$p = \rho g h$$



### Messgrößen

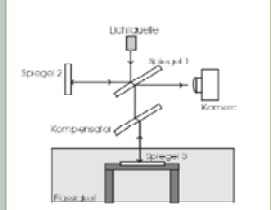
$$p = \rho g h$$



### Optische Abstandsmessungen $p = \rho g h$

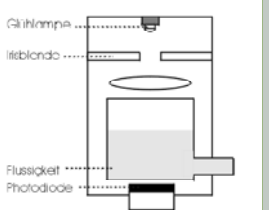
#### Interferenzmessung

1918: 0,005mm



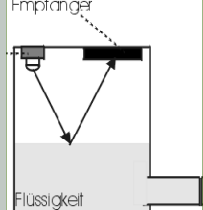
Sind die Wege zw. Spiegel 1 & 3 sowie 1 & 2 gleich oder ein Vielfaches der Wellenlänge, entsteht ein heller Interferenzstreifen. Unterscheidet sich der Weg um ein Vielfaches der halben Wellenlänge, entsteht ein dunkler Interferenzstreifen. Ändert sich die Mächtigkeit der Wasserschicht über dem Spiegel 3, ändert sich ebenfalls der Weg des Lichtstrahls, es kommt zu einer scheinbaren Wanderung des Interferenzstreifens.

#### Elektrooptische Tiefenmessung




Über der Flüssigkeit im Messgefäß wird eine Lampe installiert. Das Licht erzeugt auf der Photodiode einen messbaren Strom. Ändert sich die Flüssigkeitshöhe, so ändert sich die Stromamplitude. Die Genauigkeit des Systems hängt von der Güte der Photodiode ab.

#### Empfänger

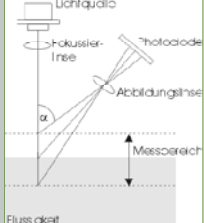


Die Strahlenquelle ist ein Infrarotlicht, das an der Flüssigkeitsoberfläche reflektiert wird und wieder zum Empfänger, einer Photodiode gelangt. Je nach Füllhöhe des Behälters ändert sich die Stromamplitude.


ETH Zürich

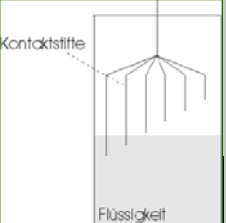
### Optische/ Elektrische Abstandsmessungen $p = \rho g h$

#### Triangulationssensoren



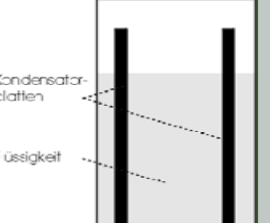
Mittels einer Linse fokussiertes Licht, trifft senkrecht auf die Oberfläche und wird reflektiert. Aus der diffusen Reflexion ist der Winkel bekannt sowie der Abstand Licht - Diode und so kann mittels Vorwärtseinschnitt die Entfernung der Lichtquelle zur Oberfläche berechnet werden.

#### Niveaumesser




In einem Gefäß befindet sich eine bestimmte Anzahl an Kontaktstiften. Tauchen die Stifte ins Wasser, wird ein Stromkreis geschlossen und die Höhe des Wassers ist ermittelt. Die Auflösungsgenauigkeit hängt von der Anzahl und der Länge der Kontaktstifte ab. Möglich sind 0,5 mm bei einem Messbereich von 50 mm.

#### Widerstandsmessungen




Beim kapazitiven Abgriff wird das Prinzip des Plattenkondensators genutzt. Die Kapazität ändert sich mit der Variation des Wasserspiegels.


ETH Zürich


### Elektrische Abstandsmessungen $p = \rho g h$

#### Differentialdrossel



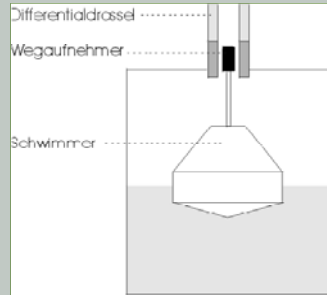
Bei der Differentialdrossel werden zwei Spulen in verschiedene Zweige einer Wechselstrommessbrücke installiert. Eine Kernverschiebung führt zu einer Änderung der Brückenspannung. Differentialdrosseln besitzen einen sehr geringen Messbereich von wenigen Millimetern und ein sehr hohes Auflösungsvermögen von 0,001 mm oder weniger.

#### Differentialtransformator




Der Differentialtransformator besteht aus einer Primärspule und zwei gegenseitig gepolten Sekundärspulen. Aus der Stellung des Kernes resultiert eine Sekundärspannung. Differentialtransformatoren besitzen einen Messbereich von Bruchteilen eines Millimeters bis zu 1,5 m, wobei das Auflösungsvermögen vom Messbereich abhängig ist (ca. 0,5-1% der Messbereiches).

#### Induktiver Abgriff mittels Schwimmer

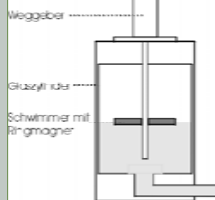


Wird der Kern durch die Spulen bewegt, kommt es zu einer Spannungsänderung. Der Kern in der Differentialdrossel wird durch einen Schwimmer bewegt, der Änderung des Flüssigkeitsniveaus folgt eine Änderung des elektrischen Ausgangswertes.


ETH Zürich

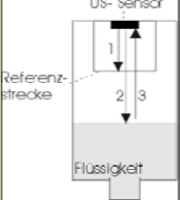
### Akustische Abtastung $p = \rho g h$

#### Aachener Schlauchwaage



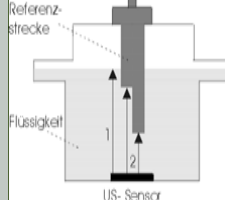
Der Wegeber ist seiner ganzen Länge zentrisch im Gefäße. Damit er diese Lage beibehält, umgibt ihn ein Schwimmer mit einem Permanentmagneten. Der Wegeber ist ein Ultraschallsensor. Ein Ultraschallempfänger ermittelt die Laufzeit des Signals, die proportional zur Strecke zwischen Magnetring und Empfänger ist. 10 mm ±0,02 - ±0,03 mm.

#### Ultraschall




Ein Ultraschallsensor erzeugt ein Signal, das an der Grenzschicht von Luft zu Wasser reflektiert wird. Aus der ermittelten Laufzeit des Signal lässt sich die Entfernung US-Sensor/ Wasser bestimmen. Da die Ultraschallmessung vor allem temperaturabhängig ist, wurde in das Konzept eine Referenzstrecke eingebaut, mit der eine Korrektur berechnet wird.

#### Referenzstrecke



Der Ultraschallsensor misst von unten gegen die Flüssigkeitsoberfläche. Auch hier hat die Temperatur starken Einfluss auf die Messung, so dass mit Hilfe der Messung einer Referenzstrecke eine Maßstabskorrektur errechnet wird. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist die sehr hohe Messgenauigkeit bei bis zu 3m Wassersäule. Das Auflösungsvermögen des Sensors beträgt 0,003 mm.


ETH Zürich

### Schlauchwaagen (von Meißer) $p = \rho g h$

**Kennwerte:**

- Höhenmessbereich: 100 mm
- Schlauchlänge: 30-50 m
- Messgenauigkeit:  $\pm 0,01$  mm
- nur in geschlossenen Räumen

**systemspezifische Fehler:**

- Kapillarkräfte (Meniskenbildung)
- Viskosität der Flüssigkeit
- Schwingungen der Flüssigkeitssäule

*geomETH*  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand ETH Zürich

### Differenzdrucksysteme $p = \rho g h$

Nach Höhenänderungen der einzelnen Endgefäße versucht die Flüssigkeit wieder einen Gleichgewichtszustand zu erlangen. Da es bei sich bei Differenzdrucksystemen um eine getrennte kommunizierende Röhre handelt, ist der Flüssigkeitsaustausch nicht möglich. Es baut sich ein erhöhter Druck auf einer Seite der trennende Messmembran des Differenzdrucksensors auf. Die Membran wird mechanisch ausgelenkt. Diese Bewegung wird durch verschiedene Abtastarten bestimmt. Abtastarten sind: piezoresistiv, kapazitiv oder induktiv.

*geomETH*  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand ETH Zürich

### Differenzdrucksysteme $p = \rho g h$

Direkter Zusammenhang zwischen gemessenem Druck und vertikaler Bewegungsrichtung

vielseitige Einsatzmöglichkeiten (innen & aussen)

unkomplizierte Installation; Grobhorizontierung

grosser Messbereich

hohe Genauigkeit (1/10mm)

keine gegenseitige Beeinflussung der Messstellen

permanente Überwachung

unanfällig gegenüber Luftturbulenzen

kurze Reaktionszeiten

*geomETH*  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand ETH Zürich

### Wägesysteme $p = \rho g h$

#### Wägung mit Kraftaufnehmern

Die Höhenänderungen werden aus der Gewichts-differenz bestimmt. Dafür ist eine exakt zentrische Aufhängung notwendig. Die Abtastarten sind DMS und piezoresistive Verfahren. Es gibt keine Einflüsse aufgrund von Meniskenbildung, Kapillarkräften und unterschiedlichen Temperaturen in den Flüssigkeitsbehältern

*geomETH*  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand ETH Zürich

### Fehlereinflüsse auf hydrostatische Systeme $p = \rho g h$

Schwerebeschleunigung unbedeutend, da nur geringe Höhenunterschiede und Entfernungen	Luftdruck Luftdruckausgleichsschlauch 0,13 mbar $\rightarrow$ 1,36 mm	Schwingungen der Flüssigkeit Beachten der Zeitkonstanten Absperrhahn
Temperatur Temperaturänderungen $\rightarrow$ Dichteänderungen $\rightarrow$ Volumensänderungen	Temperaturfehler - Vertikalkomponente 0,1 K $\rightarrow$ 1/100 mm	Luftfeuchte Verdunstung $\rightarrow$ lineares Driftverhalten
Kapillarität Meniskenbildung; abhängig von der Viskosität der Flüssigkeit	Nullpunktfehler vertauschen der Schlauchwaage Umkehrmessungen Kalibrierung - Nullpunktskonstante	Neigungsfehler horizontieren
Vibrationen, Luftströme, einseitige Sonneneinstrahlung elektrische/magnetische Felder		

**geomETH**  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand  
ETH Zürich

### Fehlereinflüsse auf hydrostatische Systeme $p = \rho g h$

Füllstandsänderungen sind begründet in

- Punktbewegungen,
- Änderungen der Flüssigkeitsdichte,
- der Schwerebeschleunigung und
- des Luftdrucks

Alle hydrostatische Systeme haben typbedingte Fehlereinflüsse die nicht pauschal aufgezählt werden können. Sie sind abhängig von der Art des hydrostatischen Systems, der Abtastart, dem Abtastsensor und dem Einsatzort.

**geomETH**  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand  
ETH Zürich

### Temperatureinfluss $p = \rho g h$

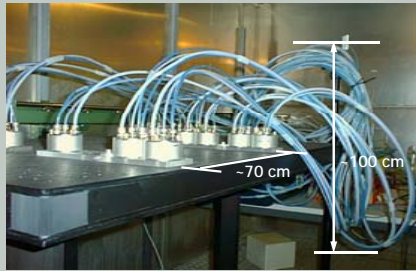
*vertikalen Temperaturgradient*  
Überbrückung von Hindernissen syphonartig, da jede positive Steigung durch eine negative Steigung kompensiert wird, wenn in horizontaler Richtung keine Temperaturänderung auftritt.

*horizontaler Temperaturgradient*  
Treten an zwei Messstellen unterschiedliche Temperaturen auf, führt dies zu einer unterschiedlichen Ausdehnung der Flüssigkeit und damit zu einer vorgetäuschten Bewegung der Messstellen

**Schlauchwaage halb- und vollgefülltes Rohr:**  
Änderung des Füllstandes

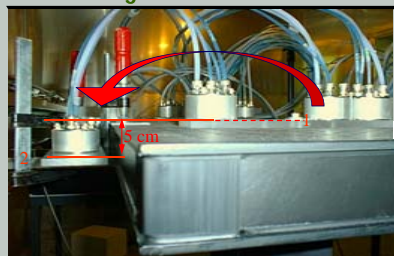
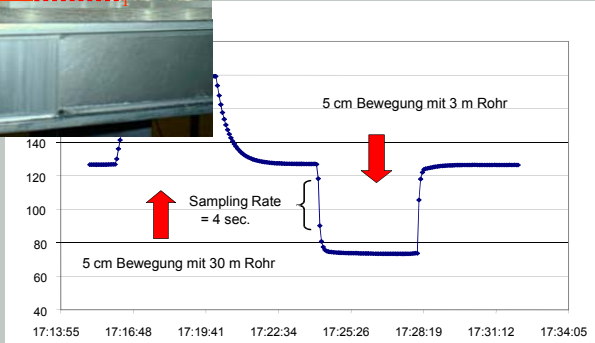
**Wägesysteme:**  
Temperaturänderung der Flüssigkeit in den Messgefäßen bewirken keine Änderung des Gewichtes, jedoch der Flüssigkeit im Schlauch

**Drucksysteme:**  
keine Druckänderung bei offenen Systemen



**geomETH**  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand  
ETH Zürich

### Einschwingverhalten - Zeitkonstanten $p = \rho g h$

**geomETH**  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand  
ETH Zürich

## Bekannte Systeme

$$p = \rho g h$$

Meisser Schlauchwaage der Freiburger Präzisionsmechanik:  
Klassische Schlauchwaage mit unterschiedlichsten Weiterentwicklungen der zuerst optischen Abtastung  
zusätzliche typbedingte Fehler: Meniskenbildung, Sprungverhalten beim Messen

Aachener Schlauchwaage:  
Ultraschallweggeber, der in Verbindung mit einem Schwimmer die höhenmäßigen Bewegungen der Flüssigkeitsoberfläche über einen Meßbereich von 10 cm mit einer Auflösung von 0.01 mm an jeder Meßstelle erfaßt.  
zusätzliche typbedingte Fehler: Schwimmer-Hysterese

HLS  
Weltweit entwickelte höchstpräzise Schlauchwaagensysteme zur Überwachung von Teilchenbeschleunigeranlagen (<2µm).  
meist kapazitive Systeme, aber auch Ultraschallsysteme (stark temperaturanfällig)

LAS/ HSDM  
Mehrstellen-Differenzdrucksystem für den Ausseneinsatz  
Bisher einziges System der Art  
Genauigkeit: 1mm auf 10cm (sehr abhängig vom Sensor)



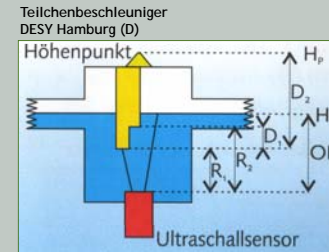
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

## Hydrostatic Levelling Systems

$$p = \rho g h$$

Hochgenaue Systeme zur kontinuierlichen Überwachung von Neigungsbewegungen von Teilchenbeschleunigeranlagen mit einer Genauigkeit  $\leq 2 \mu\text{m}$



Der Vorteil der Messung mittels Ultraschalls besteht darin, dass auch bei großen Messbereichen hohe Genauigkeiten erreicht werden.



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

Teilchenbeschleuniger SLS Villigen (CH)

kapazitive Messmethode



ETH Zürich

## Schlauchwaagen mit halbgefülltem Rohr

$$p = \rho g h$$

Hydrostatic Levelling System: Gruppe von hochpräzisen hydrostatischen Messsystemen, welche für die Überwachung von Elektronenbeschleunigeranlagen weltweit eingesetzt werden.

Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS



- halbgefülltes Rohr
- kapazitiver Abgriff des Flüssigkeitspegels
- hochpräzise



entwickelt von EMP und geomETH



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

## HLS

$$p = \rho g h$$

exakte Horizontierung - geringen Neigungen

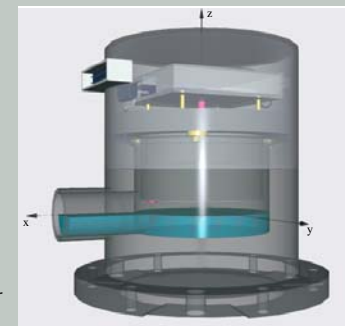
Einfießgeschwindigkeit - langsamen Bewegungen

Technische Daten:

- Range  $\pm 2,5 \text{ mm}$
- Resolution: 0.001mm
- Accuracy: 10 mm

Möglichkeit zur Selbstkalibrierung durch Neuentwicklung eines definierten Touchpoints ( $\approx 11 \text{ mm}$ )

kein linearer Zusammenhang zwischen der Höhe der Flüssigkeit und dem gemessenen Ausgangssignal



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

### Messergebnisse HLS

$p = \rho g h$

Langzeitproblematik:

lineare Drift - Verdunstung der Flüssigkeit

Temperaturen

Langzeitbeobachtung

abhängig von der Umgebungstemperatur, der Luftfeuchte und der Stärke der Luftumwälzung

Variation der Spannung nach Subtraktion des linearen Trends

periodische Drift: Temperaturschwankungen im Raum (Ausdehnung der Flüssigkeit; 0,5 K=7mm)

Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand ETH Zürich

### aktuelle Anwendungen von Schlauchwaagen

$p = \rho g h$

Draufsicht

Messtechnische Überwachung des Flussfeldes der Autobahnbrücke über die Elbe im Rahmen der Baumaßnahme BAB A4 Anwendung der ASW 2000 (aut. Schlauchwaage) <http://www.fpm.de/p1.htm>

Automatische kontinuierliche Deformationsmessung an einem 800 MW- Turbosatz in einem Braunkohlekraftwerk ASW 101 N

Aktives Monitoring - Bauwerksüberwachung an einer akut gefährdeten Brückenkonstruktion in Berlin ASW 2000

<http://www.fpm.de/fgdef.htm>

geomETH Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand ETH Zürich

### LAS/ HSDM

$p = \rho g h$

#### Vorteile des HSDM

- Einfache Bedienung
  - Keine gegenseitige Beeinflussung der Messstellen
- Reaktionszeit
  - Keine langen Einschwingzeiten
  - Auch rasche Ereignisse sind erfassbar
- Geringe Installationskosten
  - Keine Kabel zu den Messstellen
  - Zugang nur zur Zentraleinheit notwendig
- Sicherheit
  - Elektronik nur an einem Ort
  - unauffällig (Vandalismus)

geomETH Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand ETH Zürich

### Vorteile/ Nachteile von Schlauchwaagen

$p = \rho g h$

„Vorteile der Präzisionsschlauchwaage vollautomatisches Erfassen von Hebungen und Senkungen die Messungen erfolgen zeitgleich an allen Messstellen und ermöglichen eine komplexe Sofortaussage zu Veränderungen hohe Präzision unter schwierigsten Mess- und Umgebungsbedingungen Bauwerksüberwachung mit hohem Komfort“ (pc.de)

Vorteile	Nachteile/Probleme
hohe Genauigkeit (1/100mm)	hoher Installationsaufwand (Horizontierung)
Messung ohne Sichtkontakt	innerhalb von Bauwerken anwendbar
eindimensionaler Fehleraum	Anfälligkeit gegenüber einseitiger Temperaturänderung
leichte Automatisierung der Systeme	Lange Einschwingdauer (Filterung kurzperiodischer Ereignisse-Anwendungsgebiet?)
permanente Überwachung	Driftverhalten (Verdunstung, Temperaturverhalten)
unauffällig gegenüber Luftturbulenzen (Refraktion)	

geomETH Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand ETH Zürich



DANKE



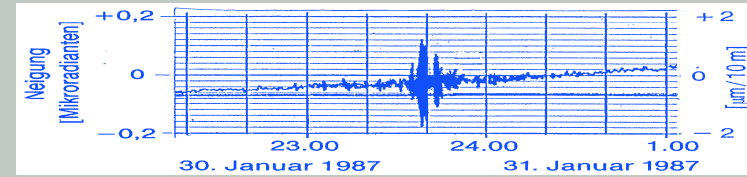
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

**Beispiel für Drucksysteme**

$$p = \rho g h$$

**Erdbebenbeobachtung mit einem Drucksystem**



- Erdbeben South Sandwich Island, Magnitude 6.9
- Aufnahme mit 10m Instrument Observatorium Schiltach (D)

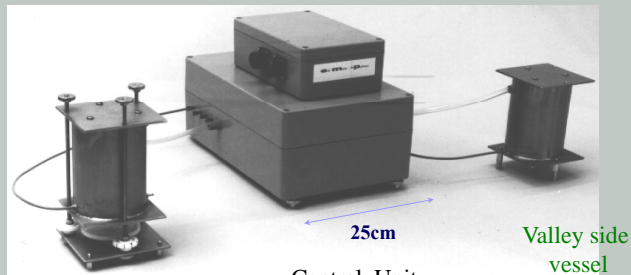


Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

**1. LAS Instrument - „Albigna“**

$$p = \rho g h$$



Lake side vessel (adjustable)

Central Unit for several inputs

Valley side vessel



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

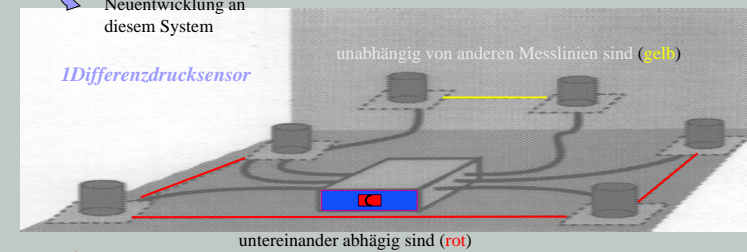
**Mehrlinien Messanordnung**

$$p = \rho g h$$

das in der Zentraleinheit integrierte Magnetschaltssystem schaltet die einzelnen Messgefäße dem Differenzdrucksensor zu

mehrere Messlinien

Neuentwicklung an diesem System



1Differenzdrucksensor

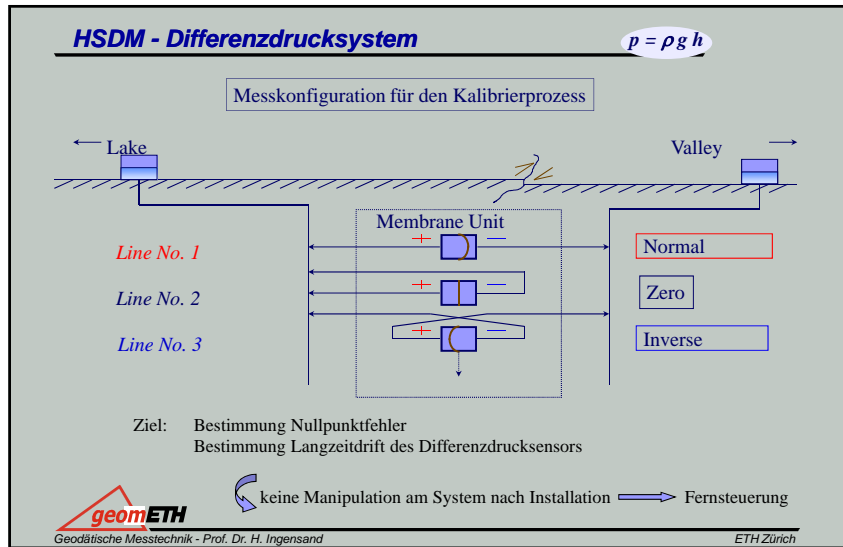
unabhängig von anderen Messlinien sind (gelb)

untereinander abhängig sind (rot)



Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich



### Anwendungen des LAS/ HSDM

$p = \rho g h$

- **Bauwerksdeformation**
  - Untertunnelung
- **Bodenkompression**
  - Deponie
  - Rekultivierung
- **Hangrutschung**

**Deformationsmessanlage CHAPF**

Deformationsbeobachtungen am Staumauergrund der Abigna Staumauer

Deformationsbeobachtungen am Münsterhügel in Basel (Rutschhang)

Deformationsbeobachtungen des Bodens bei Rohrverlegungen mittels schweren Baumaschinen oder auch Feldbearbeitungsmaschinen

**geomETH**  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich

### Zusatz Druckmesssysteme

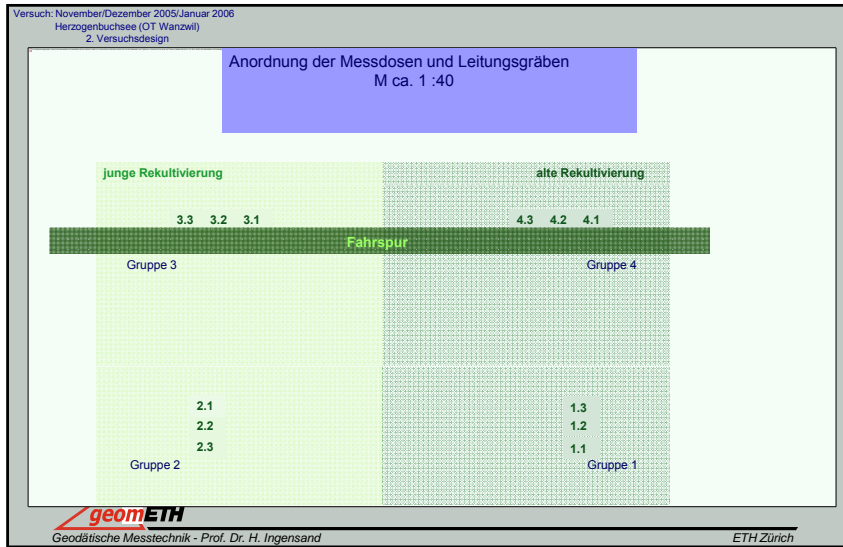
#### Hydrostatisches Druckmesssystem im Versuch

- **Vorstellung des HSDM-Befahrungsversuches mit Ergebnissen**
  - **Versuchsdesign**
  - **Ergebnisse Befahrung**
  - **Ergebnisse Langzeitmessung**

**geomETH**  
Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand

ETH Zürich





Versuch: November/Dezember 2005/Januar 2006  
Herzogenbuchsee (OT Wanzwil)  
3. Einbauparameter

### Einbauparameter:

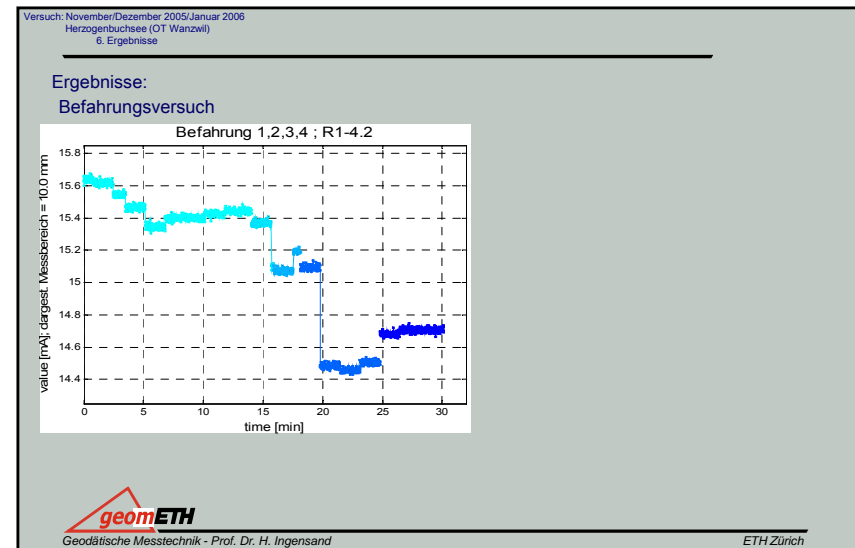
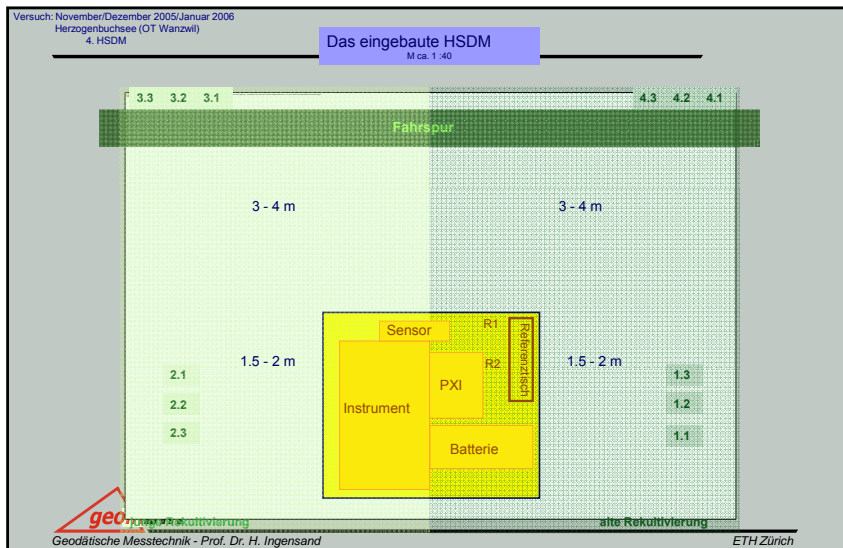
**Einnivellierte Höhen**

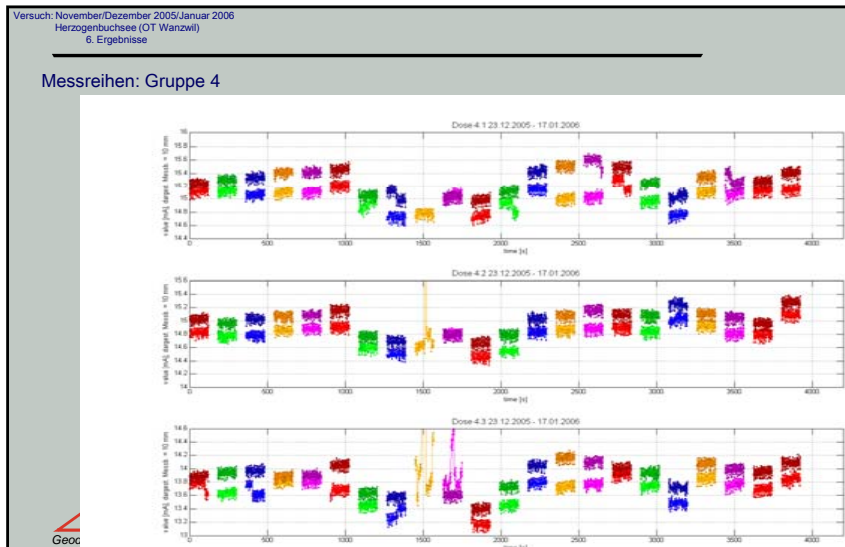
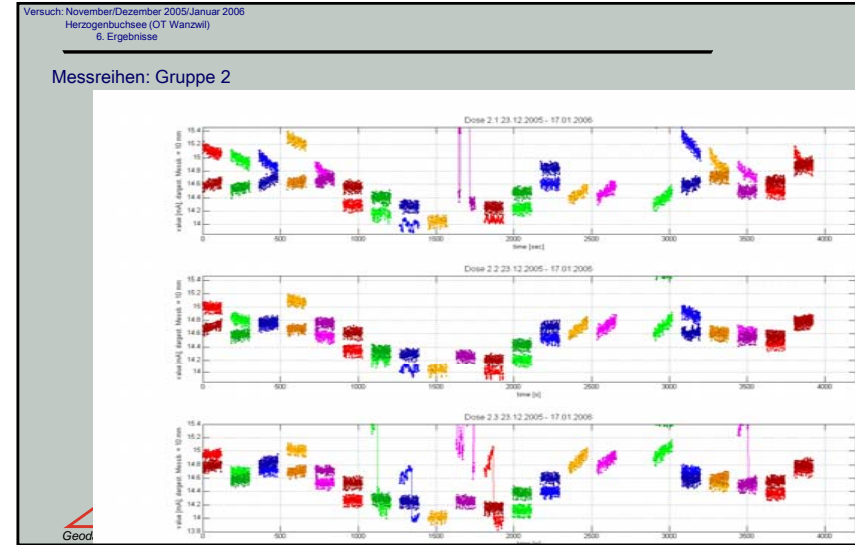
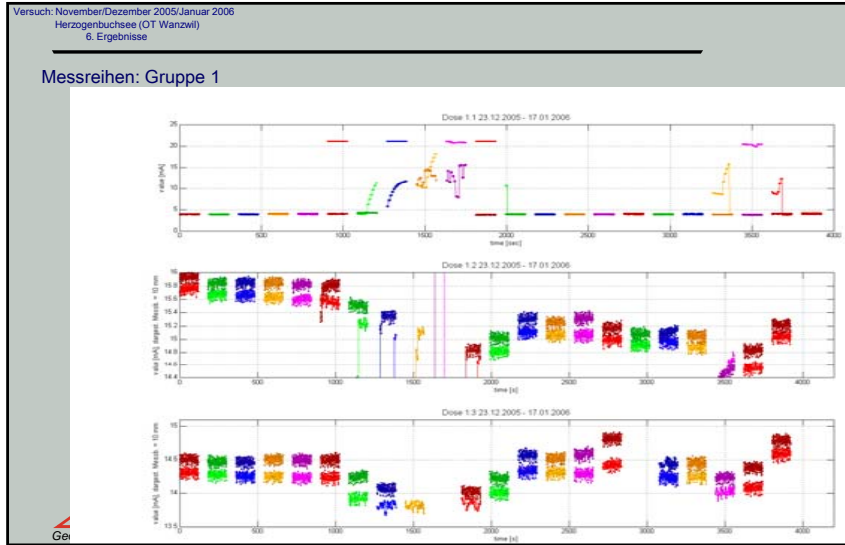
Referenzdosen	142.0 cm
Messdosen im Boden	139.0 cm ± 0.2 cm

**Relative Höhe der Fusspunkte der Messdosen zur anstehenden Oberfläche**

Gruppe	Messdose	Relative Höhe
Gruppe 1	Messdose 1.1	-28.5 cm
	Messdose 1.2	-29.0 cm
	Messdose 1.3	-28.0 cm
Gruppe 2	Messdose 2.1	-25.0 cm
	Messdose 2.2	-26.0 cm
	Messdose 2.3	-24.5 cm
Gruppe 3	Messdose 3.1	-34.0 cm
	Messdose 3.2	-34.0 cm
	Messdose 3.3	-32.0 cm
Gruppe 4	Messdose 4.1	-26.5 cm
	Messdose 4.2	-27.0 cm
	Messdose 4.3	-32.0 cm

Geodätische Messtechnik - Prof. Dr. H. Ingensand  
ETH Zürich





**Zusatzfolien**

- **Zusatzfolien**
  - **Konzept eines hydrostatischen Frühwarn-Messsystems**
  - **Skizze eines induktiver Wegaufnehmer**
  - **Beispiel für die interferometrische Abtastung einer Oberfläche**

