

Das hydrostatische Messsystem HSDM

Maja Haberecht, ETH Zürich,
Prof. Hilmar Ingensand, ETH Zürich,
Dr. Silvia Tobias, WSL Birmensdorf

Zusammenfassung:

Das Hydrostatische Nivellement besitzt einen besonderen Stellenwert bei der hochgenauen Relativmessung von Höhenunterschieden ohne Sichtkontakt. Es ist eine Vielzahl von hydrostatischen Messsystemen bekannt, welche meist für spezifische Überwachungsaufgaben entwickelt worden sind, so auch das **Hydrostatic Soil Displacement Meter**. Für die Beobachtung vertikaler Bewegungen direkt im sich bewegenden Boden eignet sich zurzeit als einziges das hydrostatische System HSDM. Es kann für Hangrutschungen, Felsbewegungen, Vulkanaktivitäten sowie Bodenkompressions- und Regenerationsbewegungen eingesetzt werden. In diesem Beitrag soll das HSDM vorgestellt werden.

1 Einleitung

Die Überwachung von Höhenänderungen bei Bauwerken, industriellen Anlagen, Hangrutschungen, Felsstürzen, geotektonischen Bewegungen sowie von Bodenkompressionen, welche durch schwere landwirtschaftliche Maschinen verursacht werden, erlangt eine zunehmende Bedeutung in unserer Gesellschaft. Dabei ist es in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung und den Umgebungsbedingungen notwendig, die vielfältigen verschiedenen Messverfahren gegeneinander abzuwägen. Für die aufgeführten Aufgabenstellungen stellt das hydrostatische Nivellement eine geeignete Messmethode dar. Während das optische Nivellement vom Einfluss der übertragenden Atmosphäre abhängig ist, spielt beim hydrostatischen Nivellement das Wasser als Übertragungsmedium eine Rolle. Somit wirkt der Einfluss der Refraktion nicht und es kann auch ohne Sichtkontakt mit hoher Genauigkeit gemessen werden. Dadurch werden neue Anwendungsgebiete eröffnet. Diesen Vorteilen stehen Verdunstung, Variabilität der Flüssigkeitsdichte in Abhängigkeit der Temperatur und Kapillareffekte entgegen. Diese verfahrensspezifischen Fehlereinflüsse gilt es zu definieren, zu minimieren bzw. zu eliminieren. Das hydrostatische Messsystem HSDM besitzt zudem das Potential, als permanente automatisierte Messeinrichtungen eingesetzt werden zu können.

2 Das Hydrostatische Messsystem

2.1 Projektvorstellung

Das aktuelle Projekt *Development of a Hydrostatic Soil Displacement Meter (HSDM) for the Assessment of Long-Term Effects of Soil Compaction* ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Lawinen (WSL). Ziel dieses Projektes ist es, ein geeignetes Messsystem zu entwickeln, um aktuelle bodenkundliche Fragestellungen beantworten zu können. Dazu gehört die Verdichtung von Boden durch schwere landwirtschaftliche Maschinen sowie die Untersuchung des langfristigen Verhaltens des Bodens nach der Verdichtung. Diese Fragen sind aus ökologischer und ökonomischer Sicht relevant. Damit der Boden angemessen geschützt und somit effektiv genutzt werden kann, sind messtechnisch gewonnene Daten mit einer Genauigkeit von 1 mm in situ über das Regenerationsverhalten und die –dauer des Bodens nach einem Verdichtungsverfahren notwendig.

2.2 Hydrostatic Soil Displacement Meter - HSDM

Das hydrostatische Mehrstellen-Differenzdruck-Messsystem HSDM wird, basierend auf dem *Large Area Settlement System* von der Fa. EMP¹, entwickelt und für oben genannte Aufgabenstellungen optimiert. Das System ist modular aufgebaut und damit jederzeit erweiterbar. Die Grundkonfiguration besteht aus einem Differenzdrucksensor, Schaltventilen, einer Befüllanlage, Messdosen und der Steuer- und Kontrolleinheit.

Das Funktionsprinzip des HSDM basiert auf der Differenzdruckmessung. Der verwendete Differenzdrucksensor arbeitet nach dem piezoelektrischen Umformungsverfahren. Die Trennmembranen werden beiderseits durch die anliegenden Drücke, welche abhängig von den Höhen der Messdosen sind, ausgelenkt. Eine Füllflüssigkeit überträgt den Druck auf eine Widerstandsmessbrücke.

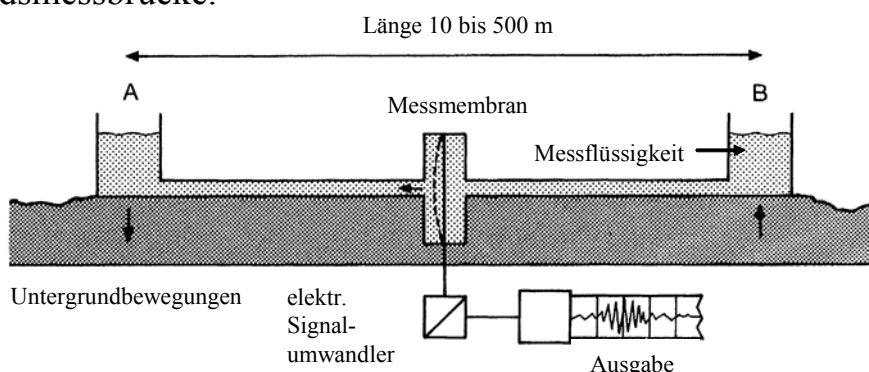


Abbildung 1: Prinzip eines Differenzdrucksensors (Meier, Ingensand, 1996).

¹ Edi Meier und Partner AG, Web: www.emp-winterthur.ch, Email: info@emp-winterthur.ch

Die differenzdruckabhängige Änderung der Brückenausgangsspannung wird gemessen und ist proportional zu dem zu bestimmenden Höhenunterschied des Messdosenpaares. Dieses Prinzip ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Eine weitere Komponente des Systems ist der autonom arbeitende Industrie-PC, der das ganze System steuert und überwacht. Die Aufgaben des Industrie-PC liegen im Empfangen, Speichern und Vergleichen der Messdaten mit gesetzten Grenzwerten. Bei deren Überschreitung, wie z. B. bei Sprüngen oder auftretender Drift wird automatisch eine Alarmnachricht versandt. Sowie können bei anstehender Modemverbindung Daten jederzeit abgefragt, Grenzwerte verändert, die Steuersoftware aktualisiert und Nachkalibrierungen durchgeführt werden. Damit sind nach der Installation keine Manipulationen am Gerät mehr nötig.

Die Innovation des HSDM ist das eingebaute Schaltsystem. Es ermöglicht, dass jede einzelne Messdose dem Sensor (für die positive (A) und negative (B) Sensorseite separat) zugeschaltet werden kann. Somit wird pro Messsystem nur ein Sensor benötigt. Je nach Schaltsystem können 2 bis 15 Messdosen angeschlossen werden, dies entspricht im Maximalfall zwölf Messlinien. Dabei dienen drei der Messlinien zur Prüfung des Sensors selbst und neun Messlinien der Bestimmung der relativen Höhenänderungen (siehe Abbildung 2).

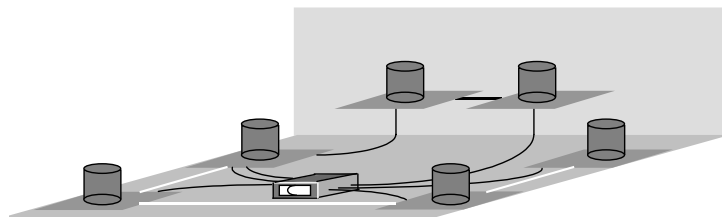


Abbildung 2: Mögliche Anordnung der einzelnen (weiss) Messlinien (Meier, Ingensand, 1996).

Das verwendete Schaltsystem ist ein 10 Position – 11 Port Ventil, welches über den PC steuerbar ist. Es verhindert die Einlagerung von Luftblasen und einen Flüssigkeitstransport während des Schaltvorgangs. Eine Drift, verursacht durch das Umschalten zwischen zwei Positionen, ist damit ausgeschlossen. Eine weitere Besonderheit des HSDM stellt die Messung in drei verschiedenen Höhenniveaus dar. Ein schwereabhängiger Flüssigkeitstransport zwischen den einzelnen Höhenniveaus wird durch das präzise Schaltsystem ebenfalls unterbunden. Der verwendete Differenzdrucksensor aus dem Niederdruckbereich arbeitet mit einer Genauigkeit von 0,01 mbar, dies entspricht 0,1 mm. Der Geräteaufbau für Labormessungen ist in Abbildung 3 dargestellt.

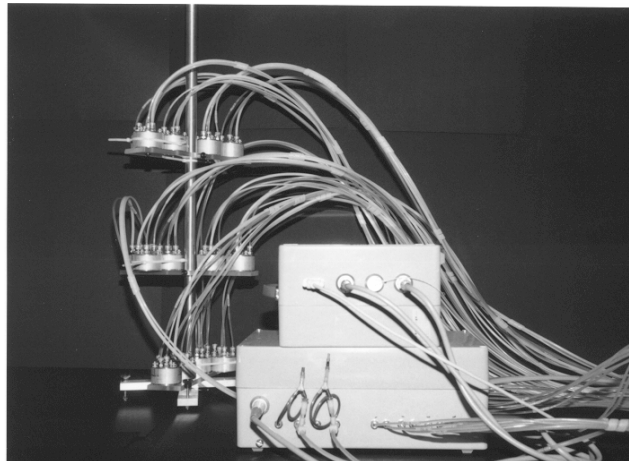


Abbildung 3: Aufbau des HSDM im Labor (Tobias et al, 2001).
 Links: Gestell mit den Messdosen auf drei verschiedenen Höhenniveaus
 Im Vordergrund: Steuer-und Kontrolleinheit

2.3 Bisherige Anwendungen

Das Vorgängermodell LAS ist für die Überwachung der Albigna Staumauer 1989 (in der Minimalausführung mit 2 Messdosen, sprich einer Messlinie) entwickelt worden. Für das Monitoring des Münsterhügels in Basel 1997 wurde die Konfiguration auf 10 Messlinien erweitert und konnte erfolgreich eingesetzt werden. Während des Projektes sowie in darauf folgenden ersten Feldversuchen von Bodenkompressionsmessungen im Jahr 2000 wurden Driften beobachtet, welche einen langfristigen Einsatz ohne ständige Nachkalibrierung unmöglich machten. So konnte in parallel laufenden Diplomarbeiten an der ETH Zürich eindeutig ein Flüssigkeitstransport zwischen den Messdosen in Abhängigkeit der relativen Höhe der Messdosenpaare, der Anzahl der Umschaltzyklen und der Füllmenge festgestellt werden (Cavozzi, 1997; Weibelzahl, 2000). Als eine weitere Fehlerquelle konnte die Einlagerung von Luftblasen in das System identifiziert werden, wodurch die betroffenen Messlinien ausfielen.

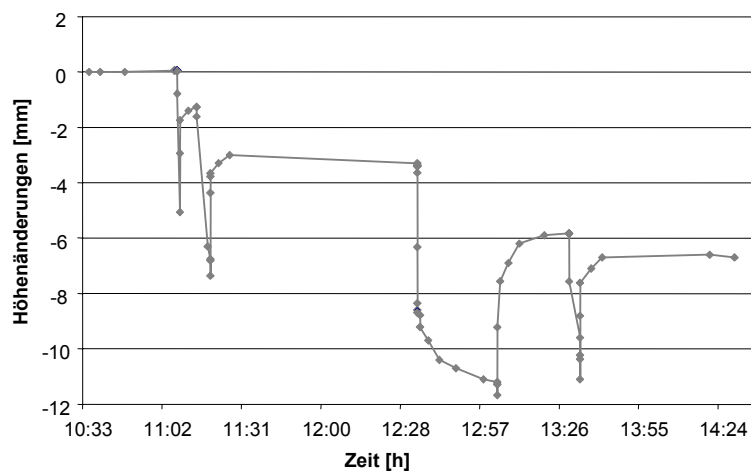


Abbildung 4: Kontinuierliche Messung des HSDM in 30 cm Tiefe während Überfahrten mit einem Raupenbagger.

Die aktuellsten Untersuchungen beschäftigen sich mit Bodenkompressionsmessungen während und nach einer Befahrung von Ackerland mit einem Raupenbagger. In Abbildung 4 ist eine Messkurve dargestellt, welche die Verdichtung des Bodens bei jeder Überfahrt darstellt. Einzelne Befahrungen sind darin deutlich erkennbar (11:02 Uhr; 11:20 Uhr; 12:30 Uhr; 13:30 Uhr). Der Boden reagiert auf die Verdichtungen teilweise mit elastischem Verhalten und irreversiblen Senkungen. Nach vier Befahrungen hatte sich der Boden um ca. 6 mm gesenkt und damit auch verdichtet. Die Untersuchung des Verhaltens des verdichteten Bodens (sind die Verdichtungen irreversibel?) ist ein Ziel dieses Projektes, um aufbauend auf diesen Ergebnissen einen nachhaltigen Bodenschutz lancieren zu können.

Nach einigen Tagen begannen die Messwerte zu driften, was anhand der erhaltenen Messwerte auf das Messsystem zurückgeführt werden konnte. Nach 10 Tagen wurde der Versuch abgebrochen (Abbildung 5).

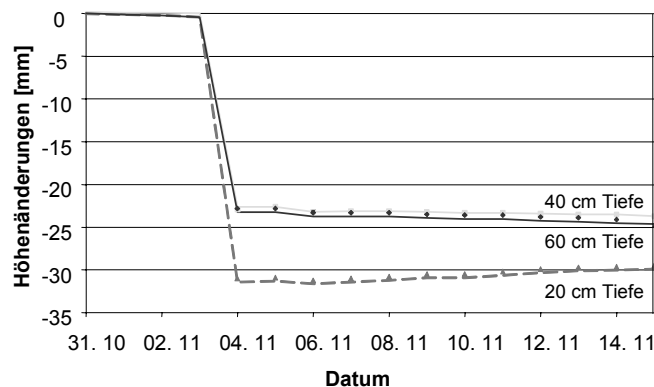


Abbildung 5: Kontinuierliche Beobachtung mit dem HSDM nach einer Befahrung.

Abbildung 5 stellt eine Messlinie pro Höhenniveau dar. Es ist deutlich eine entgegengesetzte Drift der Messlinien in 20 cm Tiefe und der in 40 bzw. 60 cm Tiefe zu erkennen. Diese Messdaten entsprechen nicht dem Verhalten des Bodens.

Die Ambition in diesem Projekt ist es daher, aufbauend auf den Ideen und Erfahrungen des LAS ein neues hydrostatisches Mehrstellen-Differenzdrucksystem zu realisieren, welches speziell für das langzeitliche Monitoring im Boden geeignet ist. Eine kontinuierliche, stabile Langzeitmessung mit einer Genauigkeit von 1 mm wird mittels neuen Hardwarebauteilen, der Entwicklung einer neuen Nachkalibrierungsmethode sowie Auswertelgorithmen ermöglicht. Das komplette System wird modular aufgebaut sein, um vielseitig, insbesondere bei der Überwachung von Hangrutschungen, Felsbewegungen oder Vulkanaktivitäten eingesetzt werden zu können.

3 Zusammenfassung

Aufgrund neuer Naturgefahren wie Hangrutschungen, Felsbewegungen und Bodenkompressionen ist ein hydrostatisches Messsystem entwickelt worden zur Überwachung dieser Prozesse im Boden. Dabei wurde besondere Bedeutung der kontinuierlichen und stabilen Langzeitmessung unter rauen Umweltbedingungen sowie eine erreichbare Genauigkeit von 1 mm zugemessen.

Literatur:

- CAVOZZI, M., 1997. Untersuchung systematischer Einflüsse eines Differenzdruck-Mehrfach-Messlinien-Instrumentes, diploma thesis, ETH Zürich.
- HABERECHEIT, M., 2002. Untersuchung des Hydrostatic Levelling System (HLS). diploma thesis, TU Dresden, ETH Zürich.
- MEIER, E.; INGENSAND, H., 1996. Ein neuartiges hydrostatisches Messsystem für permanente Deformationsmessungen. In Brandstätter, Brunner, Schelling (Ed.): Beiträge zum XII. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung, Graz, 1996.
- TOBIAS, S., HENNES, M., MEIER, E., SCHULIN, R., 2001. Estimating soil resilience to compaction by measuring changes in surface and subsurface levels. Soil Use and Management 17: 229-234
- WEIBELZAHN, C., 2000. Untersuchung eines hydrostatischen Mehrstellen-Differenzdruck-Messsystems LAS, diploma thesis, TU Dresden; ETH Zürich.

Anschriften:

ETH Zürich
Maja Haberecht-Krause
geomETH, Geodätische Messtechnik
ETH Hönggerberg
8093 Zürich
haberecht@geod.baug.ethz.ch

ETH Zürich
Prof. Dr. Hilmar Ingensand
geomETH, Geodätische Messtechnik
ETH Hönggerberg
8093 Zürich
ingensand@geod.baug.ethz.ch

WSL Zürich
Dr. Silvia Tobias
Zürcherstrasse 111
8903 Birmensdorf, Schweiz
Silvia.tobias@wsl.ch