

Analyse des Ausbaus von Inclinometermessstellen und dessen Einfluss auf das Messergebnis

Systematical analysis of inclinometer tube installation
and its influence on the testing result

Jan DÜLLMANN¹, Ralf PLINNINGER² & Michael ALBER³

Zusammenfassung

Die Überwachung von Hangbewegungen mit Vertikalinclinometermessungen stellt ein wichtiges Verfahren der Geotechnik dar. Bei einer breiten Vielzahl an verfügbaren Messrohrtypen und Verfüllmedien stellt sich aber zwangsläufig auch die Frage nach der „richtigen“ Auswahl und deren Einfluss auf das Messergebnis. Der vorliegende Beitrag fasst die Ergebnisse einer an der Ruhr-Universität Bochum durchgeführten Forschungsarbeit zusammen, bei der mithilfe von Laborversuchen grundlegende Materialeigenschaften und die Auswirkungen unterschiedlicher Materialkombinationen von Ringraumverfüllung und Messrohrtyp auf das Ergebnis von Inclinometermessungen an Gleit- und Scherflächen untersucht wurden. Der Beitrag zeigt darüber hinaus mögliche Fehlerquellen bei Auswahl und Einrichtung von Inclinometermessstellen sowie praxisorientierte Empfehlungen zu deren Vermeidung auf.

Schlüsselworte: Inclinometermessung, Messstellenausbau, Hangbewegung, Geotechnische Messungen

Abstract

Probe inclinometer measurements represent one of the most commonly used methods when it comes to the investigation of slope instabilities in rock and soil. Nevertheless, with a wide variety of casing types, grout and backfilling materials available, the choice of the best suited installation materials and the influence of the chosen materials on the testing results of a specific installation remains mostly vague. The presented paper resumes the findings of a recent research work conducted at Ruhr-Universität Bochum. By use of different laboratory tests, basic material properties and impacts on the result of inclinometer measurements at shear planes coming from different casing/grout-combinations were investigated. Additionally the paper resumes some more findings on possible installation problems and presents practical suggestions for their solution.

Key words: Inclinometer Test, Tube Installation, Landslide, Mass Movements, Geotechnical Measurements

1 Messverfahren und Messgeräte

Inclinometermessungen stellen eines der am häufigsten eingesetzten geotechnischen Feldversuchverfahren zur Überwachung von Massenbewegungen in Fest- oder Lockergesteinen dar.

Vor Durchführung der eigentlichen Messungen müssen im Beobachtungsbereich jedoch Inclinometer-Messstellen (meist mit Hilfe von Bohrungen) eingerichtet werden.

Die Messung selbst erfolgt mit Hilfe von Inclinometersonden oder fest installierten Neigungsgebern (sog. „Inclinometerketten“).

Mit beiden Verfahren wird die absolute Neigung der Messstelle in zwei Raumrichtungen hochgenau ermittelt. Aus mehreren zeitlich versetzten Messungen können relative Neigungsveränderungen in verschiedenen Teufen und Raumrichtungen ermittelt und daraus Aussagen zu eventuellen Bewegungen, deren Tiefenlage und Bewegungsbeträgen abgeleitet werden.

Auf eine ausführliche Darstellung des Messverfahrens kann mit Verweis auf die ausführlichen Beschreibungen in der entsprechenden DGGT-Empfehlung Nr. 21 (DGGT, 2002) bzw. der ISRM-Empfehlung (ISRM, 1981) verzichtet werden.

¹ MSc.-Geol. Jan Düllmann, Max Bögl Bau GmbH, Max-Bögl-Straße 1, 92369 Sengenthal/Neumarkt, email: jan.duellmann@gmx.de

² Dipl.-Geol. Dr.rer.nat. Ralf J. Plinninger, Dr. Plinninger Geotechnik, Kirchweg 16, 94505 Bernied, email: geotechnik@plinninger.de

³ Prof. Dr.-Ing. Michael Alber, Ruhr-Universität Bochum, Arbeitsgruppe Ingenieurgeologe, Universitätsstrasse 150, 44780 Bochum, email: michael.alber@ruhr-uni-bochum.de

2 Messstellenausbau

Eine Inclinometer-Messstelle besteht grundsätzlich aus einem Inclinometermessrohr, das formschlüssig in einem Bohrloch (oder Leerrohr) fixiert wird (Abb. 2).

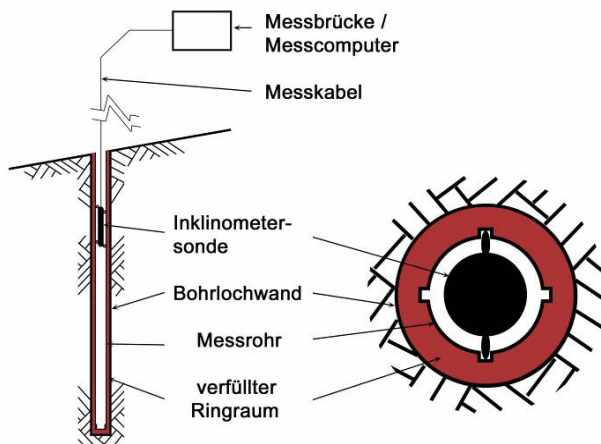


Abb. 2: Schematischer Aufbau einer Inclinometermessstelle (nach ISRM, 1981, verändert)
Fig. 2: Schematic cross sections of a inclinometer tube (acc. to ISRM, 1981)

Die treffende Auswahl der Materialien und deren fachgerechter Einbau sind von entscheidender Bedeutung für das Messergebnis. Die deutsche DGGT-Empfehlung Nr. 21 (DGGT, 2002) stellt hierzu treffend fest:

„Erfahrungen haben gezeigt, dass Messprobleme häufig auf die Wahl der falschen Messverrohrung und ihren nicht fachgerechten Einbau zurückzuführen sind.“ (S. 15, Abs. 3).

2.1 Inclinometermessrohr

Wesentliches Element des Inclinometermessrohrs sind 4 präzise in Längsrichtung des Rohrs gefertigte Führungsnuten, in denen bei den späteren Messungen die Rollen der Messsonde laufen.

Auf dem Markt sind eine Vielzahl von Inclinometer-Messrohrtypen verschiedenster Hersteller verfügbar, die sich neben der Rohrgeometrie und Verbindungen (Außenmuffen, durchmesserkonstante Muffen, Schnellverbindungssysteme) vor allem hinsichtlich der verwendeten Messrohrmaterialien und Materialstärken unterscheiden. In Mitteleuropa haben sich vor allem Kunststoffmessrohre (ABS) und Messrohre aus Aluminium durchgesetzt, seltener kommen Messrohre aus Stahl oder GFK zum Einsatz (Abb. 3).

Wesentliche technische Entscheidungskriterien für die Auswahl des geeigneten Messrohrtyps sind neben prinzipiellen Überlegungen zum einzusetzenden Rohrdurchmesser insbesondere die Messstellentiefe und die Bewertung des Korrosionspotenzials:

- Vor allem beim Einsatz von **ABS-Rohren** in verhältnismäßig tiefen Messstellenausbauten (> ca. 50 m) besteht die Gefahr, dass die Rohre aufgrund der Differenz zwischen Außendruck (hydrostatischer Druck des Füllmediums) und Rohrinneindruck beschädigt werden. Selbst der Einsatz einer Klarwasserfüllung im

Messrohr kann bei tiefem Ausbau einen Rohrkollaps nicht immer verhindern, da auch dann noch Dichteunterschiede von bis zu rd. 0,8 g/cm³ auftreten. Neben der Möglichkeit, derartig tiefe Messstellen in mehreren Teilabschnitten zu verfüllen, kann auch von vorneherein auf stabilere Rohre mit ggf. größerer Materialstärke zurückgegriffen werden.

- Insbesondere bei aggressivem Wasserchemismus (insbes. NaCl-Gehalt) oder beim Kurzschließen von Bodenschichten mit unterschiedlichem elektrischen Potenzial können mit **Aluminiumrohren** ausgebaute Messstellen mittel- bis langfristig durch Korrosion der Messrohre unbrauchbar gemacht werden. Sofern dies nicht im Einklang mit einer sowieso nur kurzfristigen Messdauer steht, sollte der Verzicht auf dieses Messrohrmaterial oder der Einsatz von Kunststoffmessrohren oder Schutzbeschichtungen erwogen werden.

Den **Verformungseigenschaften** des gewählten Messrohrs ist ebenfalls ein Einfluss auf das Messergebnis einzuräumen. Bis dato lagen hierzu jedoch keine systematischen Ergebnisse vor.



Abb. 3: Beispiele für unterschiedliche Inclinometer-Messrohrtypen, von oben: Aluminiumrohr \varnothing 76 mm, ABS-Rohr \varnothing 71 mm mit 3,5 mm Materialstärke, ABS-Rohr \varnothing 70 mm mit 5 mm Materialstärke und durchmesserkonstanter Muffe, ABS-Rohr mit 5 mm Materialstärke und Schnellkupplungs-System

Fig. 3: Examples for different inclinometer casing types: Aluminium Casing \varnothing 76 mm, ABS-Casing \varnothing 71 mm with 3,5 mm material thickness, ABS-Casing \varnothing 70 mm with 5 mm material thickness and flush-coupling, ABS-Casing with 5 mm material thickness and quickjoint-system

2.2 Ringraumverfüllung

Der vollständigen und formschlüssigen Verfüllung des Ringraums zwischen Bohrlochwandung und Inklinometermessrohr kommt eine wesentliche Bedeutung für die Genauigkeit der Messungen zu. Messrohrstrecken, die infolge unzureichender Hinterfüllung in instabiler Lage verbleiben führen zwangsläufig zu Zufallsergebnissen bei der Inklinometermessung und können die tatsächlich auftretenden Bewegungen nicht wiedergeben.

Als mögliche Verfüllmedien stehen ein Vielzahl ungebundener und hydraulisch gebundener Baustoffe zur Verfügung, die in nachstehender Tab. 1 zusammengestellt sind.

Tab. 1: Übersicht über üblicherweise zur Ringraumverfüllung von Inklinometermessstellen eingesetzte Verfüllmedien

Tab. 1: Overview of materials commonly used for the backfilling of inclinometer tubes

ungebundene Verfüllmedien	hydraulisch gebundene Verfüllmedien
Tonpellets	Zementsuspensionen
Sand	„Dämmen“-Suspensionen (industriell hergestellte Zement-Bentonit-Mischungen)
Sand-Kies-Gemische	vor Ort hergestellte Zement-Bentonit-Suspensionen

Ungebundene Verfüllmedien werden in der Regel als Sackware in trockenem Zustand vom Bohransatzpunkt in den zumeist engen Ringspalt eingefüllt. Die Gefahr ungleichmäßiger Verteilung im Ringspalt, „Aufhängen“ an hervorstehenden Muffen und in Folge nicht ausreichend hinterfüllter Rohrstrecken besteht aus Sicht der Verfasser selbst dann, wenn Sand und Sand-Kies-Gemische eingespült werden und glattgemuffte Messrohrtypen verwendet werden.

Die DGGT-Empfehlung Nr. 21 [DGGT, 2002] ergänzt hierzu: „Es wird empfohlen eine Sand-Kies-Verfüllung nur in besonderen Fällen (z.B. bei großen Karsthohlräumen im Baugrund) in Betracht zu ziehen“ (S. 17, Abs. 2), während die ISRM-Empfehlung [ISRM, 1981] grundsätzlich nur die Verfüllung mit Suspensionen vorsieht.

Selbst wenn **Suspensionen** aufgrund ihrer guten Fließeigenschaften eine deutlich formschlüssigere Verfüllung des Ringspalts ermöglichen, ist bei diesen Feststoff-Wasser-Gemischen das Absatzmaß der eingesetzten Suspension, d.h. das Abtrennen von Anmachwasser und Feststoffanteil beim Abbindeprozess zu beachten: So bedeutet beispielsweise ein spezifisches Absatzmaß von 10 % bei einer 30 m tiefen Messstelle eine unweigerlich auf die oberen 3 Meter nicht hinterfüllte Messrohrstrecke.

Den **Verformungseigenschaften** des gewählten Verfüllmediums ist ebenfalls ein Einfluss auf das Messergebnis einzuräumen. Bis dato lagen hierzu jedoch keine systematischen Ergebnisse vor.

3 Laboruntersuchungen

Im Rahmen eines Forschungsprojekts an der Arbeitsgruppe Ingenieurgeologie der Ruhr-Universität Bochum (Düllmann, 2008) wurde systematisch der Einfluss verschiedener Materialien und deren Variation auf das Messergebnis von Inklinometermessungen anhand einiger praxisüblicher Kombinationen hydraulischer Verfüllmedien und Messrohrtypen untersucht.

Für die Untersuchungen wurden insgesamt 10 hydraulisch gebundene Verfüllmedien herangezogen, wobei es sich um acht handelsübliche Produkte (verschiedene Dämmen®-Sorten, Hochofen-Zement) und zwei aus den Rohprodukten selbst hergestellte Zement-Bentonit-Mischungen (Verhältnis 5 : 1 und 3,3 : 1) handelte. Alle Mischungen wurden mit variierenden Wasser-Feststoff-Faktoren (W/F-Faktoren) hergestellt, so dass die Praxisanforderung einer guten Fließfähigkeit gegeben war.

Insgesamt wurden 20 Einaxiale Druckversuche, 20 Triaxial-Versuche, 20 Bestimmungen des Absatzmaßes sowie 40 direkte Scherversuche an Modellmessstrecken (Rohr/Verfüllmedium-Kombinationen) durchgeführt.

3.1 Technische Kennwerte der Verfüllmedien

Die Untersuchung der gebundenen Verfüllmedien mit herkömmlichen Versuchen hatte zu Ziel, wesentliche technische Materialparameter zu ermitteln. Diese Kennwerte sind wesentliche Parameter für die Interpretation der Verfüllmedien im Kontext der durchgeführten Scherversuche. Nachstehende Tab. 2 stellt die untersuchten Verfüllmedien und deren wesentliche technische Eigenschaften vor.

Tab. 2: Zusammenstellung der untersuchten Verfüllmedien und wesentlicher technischer Eigenschaften.

Tab. 2: Compilation of the investigated grouting materials and some of their relevant technical properties

Kürzel	Bezeichnung	W/F-Faktor	Dichte* [g/cm ³]	UCS* [MPa]	E-Modul* [MPa]	Absetzmaß* [%]
SD 0,45	Soildämmen®	0,45	1,58	0,05	100	0
ZB 1	Zement-Bentonit-Gemisch 5 : 1	1,67	0,76	0,36	884	8
ZB 2	Zement-Bentonit-Gemisch 3,3 : 1	1,85	0,50	0,10	100	16
OD 0,45	Originaldämmen®	0,45	1,58	7,0	2468	0
OD 0,7		0,70	1,42	1,7	912	0
BD 0,45	Blitzdämmen®	0,45	1,73	23,1	7063	0
BD 0,55		0,55	1,52	21,0	5206	0
BD 0,7		0,70	1,42	12,6	4550	0
Z 0,5	CEM III/B Zement (Andotherm Plus®)	0,5	1,58	36,8	8148	6
Z 0,8		0,8	1,25	24,6	4474	12,5

* Kennwerte ermittelt nach 28 Tagen

3.2 Scherversuche an Modell-Messtrecken

Die eingesetzte Versuchseinrichtung diente dazu, den Vorgang einer Felsgleitung entlang einer definierten Scherfuge zu simulieren (Translationsrutschung). Bei einer realen Messstelle würde die Neigungsveränderung des Messrohrs infolge Scherung zwischen hangendem (bewegtem) und liegendem (unbewegtem) Gebirge dabei als Hinweis auf Tiefenlage und Bewegungsrate einer Scherfuge interpretiert.

Für die Durchführung der Scherversuche wurde eine vorhandene Felsschereinrichtung mit einer speziellen Probenaufnahme und Wegmesseinrichtung so modifiziert (Abb. 4), dass „Modellmesstrecken“ aus Messrohr und Verfüllmedium mit einer Höhe von 20 cm bei vertikaler Belastung über eine definierte Scherfuge abgesichert werden konnten.

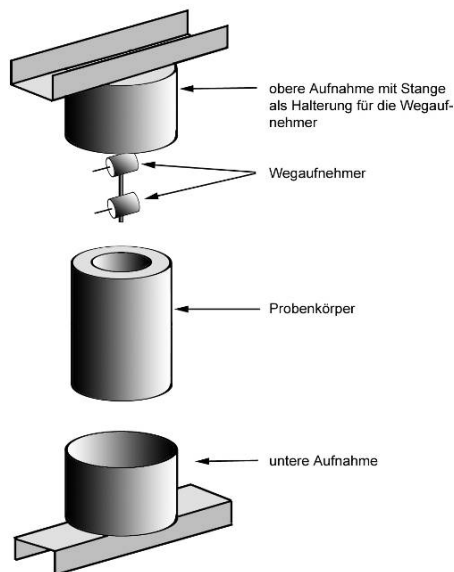


Abb. 4: Versuchsaufbau für die direkten Scherversuche an Modellmesstrecken (Messrohr / Verfüllmedium - Kombinationen)

Fig. 4: Testing layout of the direct shear test on model tube installations (casing-grout-combinations)

Zur Verformungsaufzeichnung wurden zwei Wegaufnehmerpaare verwendet:

- Wegaufnehmer des Felsschergeräts zur Aufzeichnung der „absoluten“, von Außen auf die Modellmesstrecke aufgetragenen Verformung,
- 2 induktive Wegaufnehmer innerhalb des Messrohrs, einen Zentimeter unterhalb der Scherfuge bzw. einen Zentimeter über dem Boden

Um eine Scherung der Probe zu erzeugen, wurde der obere Teil in der Aufnahme festgehalten und der untere Teil verschoben. Die Versuche wurden mit einer konstanten Normalkraft von $F_N = 3000$ N durchgeführt. Diese Kraft entspricht in etwa der Vertikalspannungskomponente in einer Bohrlochtiefe von 20 m bei einer Verfüllmaterialdichte von 1,5 bis 2,0 g/cm³.

3.3 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche wurden zunächst als Kraft-Verformungsdiagramme an der Versuchseinrichtung

aufgezeichnet und später für die verschiedenen Materialkombinationen zusammengestellt. Als signifikante Kenngröße für die Beschreibung der Differenz zwischen außen aufgetragene Verformung der Messstrecke (d_A) und auf der Innenseite des Messrohrs gemessener Verformung (d_I) wurde für jede Kombination von Messrohrtyp und Verfüllmedium ein „spezifischer Dämpfungsfaktor“ F_D ermittelt:

$$F_D = \frac{d_A}{d_I} \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$$

Es zeigten sich relativ stark differierende Dämpfungsfaktoren in einem Bereich von minimal 1,14 bis maximal 3,38 (siehe Düllmann, et al., 2009 für eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse). Die ermittelten Faktoren verteilen sich relativ heterogen auf die verschiedenen Messrohrtypen, wobei grundsätzlich folgende Trends erkennbar sind:

- die dünnwandigen ABS-Messrohre (3,5 mm Wandstärke) zeigen mit F_D zwischen 1,14 - 2,32 und einem Mittelwert von 1,66 die günstigste Dämpfung,
- die dickwandigen ABS-Messrohre (5,0 mm Wandstärke) zeigen mit F_D zwischen 1,26 - 2,59 und einem Mittelwert von 1,71 eine geringfügig höhere, aber immer noch vergleichsweise günstige Dämpfung,
- die Aluminium-Messrohre zeigen mit F_D zwischen 1,24 - 3,38 und einem Mittelwert von 2,33 die höchste und damit tendenziell ungünstigste Dämpfung.

Die in einem zweiten Auswertungsschritt für jeden Messrohrtyp durchgeführte Gegenüberstellung von spezifischem Dämpfungsfaktor F_D und dem E-Modul des Verfüllmediums (Abb. 5) gibt zu der Vermutung Anlass, dass grundsätzlich der Einsatz von Verfüllmedien mit höherem E-Modul zu höheren F_D -Faktoren führt.

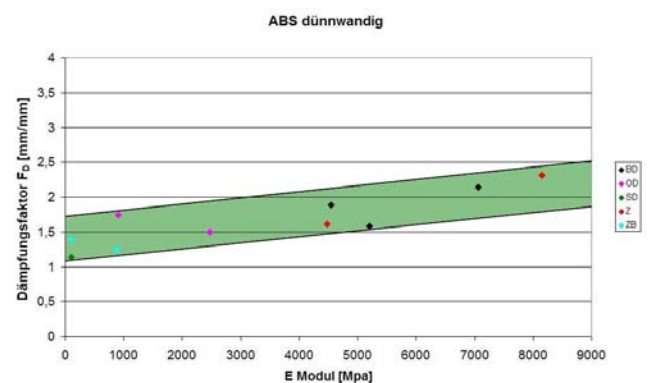


Abb. 5: Dämpfungsfaktoren F_D für ABS-Messrohr 3,5 mm, aufgetragen gegen des E-Modul des Verfüllmediums

Fig. 5: Damping factors F_D for ABS-casings 3.5 mm, plotted against the Young's Modulus of the grouting material

4 Schlussfolgerung und Empfehlungen

Eine der wesentlichsten Erkenntnisse der vorgestellten Untersuchungen ist sicherlich die Feststellung, dass Verformungsraten, die aus Inklinometermessungen an Scherflächen abgeleitet werden, nicht 1:1 auf die an einer Scher- und Gleitfläche auftretenden Verformungen übertragen werden können. Die aus den Versuchen ermittelten „Dämpfungsfaktoren“ F_D erreichen in keinem Fall einen Wert von 1,0, die maximal ermittelten Werte von > 3 bedeuten dagegen eine erhebliche „Dämpfung“ der tatsächlichen Verformung. Es ist also anzunehmen, dass die gemessenen Verschiebungen die tatsächlichen Verformungen grundsätzlich eher unterbewerten.

Ebenso eindeutig lässt sich die Tatsache herausstellen, dass die Wahl der Verfüllmedien als auch die Wahl des Messrohrtyps einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis von derartigen Messungen haben. Die Tatsache, dass Verfüllmaterialien mit hohem E-Modul und hohen Festigkeiten die höchsten (ungünstigsten) Dämpfungsfaktoren aufwiesen, zeigt, dass Empfehlungen, wie die in der deutschen DGGT-Empfehlung Nr. 21 [DGGT, 2002] niedergelegte Formulierung „...ist das Verfüllmaterial den geologischen Gegebenheiten im Bereich der Messstelle anzupassen...“ nicht immer zur zielführenden Materialauswahl beitragen.

Hinsichtlich der „Dämpfung“ der Scherbewegung lieferten unabhängig von der Wahl des Messrohres die Mischungen von Soil Dämmer® (SD 0,45) und die selbst hergestellten Zement-Bentonit-Mischungen (ZB1) die besten Ergebnisse. Die schlechtesten Faktoren lieferten die Proben aus festerem Blitzdämmer® und reinem Zement. Hier lagen die F_D -Werte bei allen Kombinationen über einem Wert von 2 und stiegen bis auf einen Maximalwert von rd. 3,4.

Auf Grundlage der dargestellten Ergebnisse und Schlussfolgerungen sind aus Sicht der Verfasser folgende 5 Grundregeln für eine optimale Wahl von Messrohr und Verfüllmedium herauszuarbeiten:

- **ABS-Messrohre vor Aluminiumrohren:** In Konsequenz der ermittelten Dämpfung und unter Berücksichtigung ihrer geringen Korrosionsanfälligkeit sind ABS-Messrohre Aluminiumrohren unter den allermeisten Umständen vorzuziehen.
- **Dünnwandige vor dickwandigen Rohren:** Sofern es die Messstellentiefe zulässt, sind dünnwandige ABS-Messrohre dickwandigeren Messrohren vorzuziehen. Unabhängig vom verwendeten Verfüllmaterial zeigten die dünnwandigeren ABS-Rohre in den meisten Versuchen die besten Dämpfungsfaktoren.
- **Hydraulische vor ungebundenen Verfüllmedien:** Hinsichtlich der verwendeten Verfüllmedien sind aus Sicht der Verfasser hydraulische Verfüllmedien aufgrund ihrer grundsätzlich besseren Eignung zur formschlüssigen Verfüllung des Ringraums ungebundenen Medien wie Sand-Kies-Gemischen o.ä. vorzuziehen. Dass ein Einsatz derartiger Medien unter problematischen Verhältnissen (z.B. Antreffen von Hohlräumen) sinnvoll sein kann, bleibt davon unberührt.
- **Suspensionsstabile vor instabilen Suspensionen:** Werden hydraulische Verfüllmedien eingesetzt, so ist der Vorzug weitgehend suspensionsstabilen Materialien zu geben, bei denen ein möglichst geringes Absetzmaß sicherstellt, dass einmal verfüllte Bereiche auch nach Abbinden der Suspension dauerhaft formschlüssig verfüllt bleiben. Wurden bei der Messstelleneinrichtung instabile Suspensionen verwendet, muss dies bei der Interpretation der Messungen in den vermutlich nicht hinterfüllten (oberflächennahen) Bereichen entsprechend berücksichtigt werden.
- **Wenig feste vor festen Verfüllmedien:** Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen ist festzustellen, dass der Einsatz von hydraulisch gebundenen Verfüllmaterialien mit geringen E-Modulen / geringer Festigkeit ein günstigeres Systemverhalten erwarten lässt, als Materialien mit hohen E-Modulen / hoher Festigkeit. Die bisher vertretene Hypothese der Korrelation von Verfüllmedium und Boden bedeutet, dass in Fels festere und in Böden weniger feste Verfüllmaterialien einzusetzen sind. Auch im vorliegenden Modellversuch, der hinsichtlich seiner Rahmenumstände gut geeignet erscheint, die Verhältnisse einer Scherfuge in Fels wiederzugeben, stellten sich dagegen die weniger festen Materialien mit niedrigen E-Modulen als die besten Überträger der Scherbewegungen auf die Messrohre heraus.

Die dargestellten Erfahrungen und Untersuchungen zeigen, dass die Materialauswahl und die Einrichtung von Inklinometermessungen eine anspruchsvolle Aufgabe darstellen, die mit der gebotenen Sorgfalt ausgeführt werden muss, sollen die ermittelten Ergebnisse eine repräsentative Aussage über die Bewegungsmechanismen und Bewegungsraten von Massenbewegungen erlauben.

Literatur

DGGT – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (2002): Empfehlung Nr. 21 – Verschiebungsmessungen quer zur Bohrlochachse – Inklinometer- und Deflektometermessungen, Bautechnik, 4/2002.

Düllmann, J. (2008): Versuche zur Optimierung des Einbaus von Inklinometermessrohren; Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum, 2008 (unveröffentlicht).

Düllmann, J., Plinninger, R. & Alber, M. (2009): Systematische Analyse von Ringraumverfüllung und Messverrohrung bei Inklinometermessstellen.- in: Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein (Hrsg., 2009): Tagungsbeiträge der 7. Österreichischen Geotechniktagung, 21./22.01.2009, Wien, 2009: 269 - 280.

ISRM – International Society for Rock Mechanics (1981): Suggested Methods for monitoring rock movement using a probe inclinometer.- in: Ulusay, R & Hudson, J.A. ((2007): The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006: S. 575-587.