

Freitag 16. Oktober 2015

12:00-12:30

## **Erfahrungen bei Einbau, Messung, Auswertung und Interpretation von Inklinometern**

M. Holzmann, S. Perzlmaier, M. Heidegger, U. Tschögele, B. Hofer

*TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG, Eduard-Wallnöfer-Platz 2, 6020 Innsbruck*

### Inklinometerinstallation

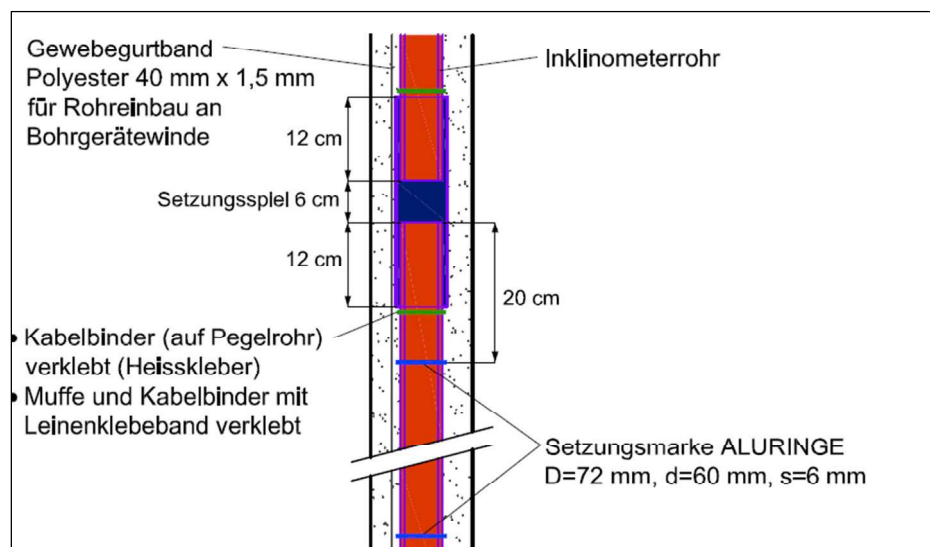
Die Erfahrungen der TIWAG mit dem Ausbau von Bohrungen als Inklinometermessstellen reichen bis in die frühen 90er Jahre zurück. Mit den ersten eingebauten Inklinometern an den westlichen und östlichen Hängen des Gepatschspeichers sollten die basalen Scherzonen der tiefgründigen Massenbewegungen Hochmais und Klargarten detektiert werden. Die Pegel bestehen aus gemufften Vollrohren; in den Muffen wurden die Vollrohre mit Setzungsspiel eingebaut (Abb. 1). Die Idee war, zusätzlich zu den horizontalen auch die vertikalen Verschiebungen zu messen, auszuwerten bzw. zu interpretieren. Der Ausbau des Bohrloches erfolgte nach Erreichen der Teufe in mehreren Schritten: 1) stellen des Inklinometers 2) ziehen der Verrohrung um wenige Meter und Füllen von Quarzfilterkies 3) bestimmen der verkiesten Höhe mittels Sondiergestänge; die Arbeitsschritte 2) und 3) wurden solange wiederholt, bis der Inklinometerausbau fertiggestellt war. Die Sondierung nach einem Füllvorgang ist erforderlich um ausschließen zu können, dass der Kies nicht zwischen Pegelrohr und Bohrlochverrohrung (Bohrung im Lockergestein) eingebracht wird, da es sonst beim Ziehen der Verrohrung zum Abreißen des Pegels kommen würde.

Die Planung der Arbeitsschritte und der Einbau selbst erfolgten und erfolgen durch Mitarbeiter der TIWAG, welche auch die Wartung, Messung und Auswertung der Inklinometer durchführen.

Im Zuge der Ausarbeitung der Einreichunterlagen zum Projekt Speicherkraftwerk Kühtai wurden im Jahre 2007 und 2008 im Längental insgesamt vier Inklinometer an den potentiellen Speicherhängen installiert: drei vertikale Inklinometer und ein Inklinometer um 30 Grad gegen die Vertikale geneigt. Die 30 Grad gegen die vertikale geneigte Bohrung wurde im Bereich eines Felskopfes abgeteuft. Der Ausbau der Inklinometer erfolgte nach dem Schema wie oben beschrieben. Aufgrund der nicht plausiblen Messergebnisse im geneigten verkiesten Inklinometer wurde dieser 2008 durch ein vertikales ersetzt.

Zur Vertiefung bzw. Erhöhung des Kenntnisstandes der Geometrie und Kinematik der tiefgründigen Massenbewegungen entlang des Gepatschspeichers wurden in den Jahren 2009 bis 2011 7 Bohrlöcher als Inklinometermessstellen ausgebaut. Das tiefste Inklinometer reicht 230 m unter GOK. Der Ausbau erfolgte zum Teil mit Einbau von Setzungsspiel der Rohre zwischen den Muffen, teils ohne. Die Bohrlöcher wurden im Bereich des anstehenden Gebirges mit Zementsuspension verfüllt, innerhalb der stark zerlegten Massenbewegung mit Quarzfilterkies verfüllt. Beim Ausbau kam bei ausgewählten Inklinometern eine weitere Methode zum Einsatz, bei der mit dem Inklinometerrohr gleichzeitig ein Filtergewebeslauch, Textilgewebepacker und Injektionsschläuche in das Bohrloch mitgeführt wird. Um den Bergwasserspiegel messen zu können und Rückschlüsse auf die Durchlässigkeit des Untergrundes schließen zu können wurden ausgewählte Pegel vor dem Einbau in das Bohrloch perforiert.

Neben den bereits erwähnten Ausbauten wurden unter anderem Inklinometer am Druckschachthang des Kaunertalkraftwerks sowie im Oberen Gericht (Projekt GKI) installiert.



**Abb. 1:** Einbau der Inklinometerrohre mit Setzungsspiel in der Muffe

### Messung

Die erste Messung des Pegels erfolgt wenige Tage nach Baufertigstellung. Die Nullmessung, welche als Referenz für alle weiteren Messungen herangezogen wird, muss nicht zwingend die erste Messung nach Baufertigstellung sein. Die Erfahrung zeigt, dass bei Inklinometern, welche mit Quarzfilterkies verfüllt wurden, die Konsolidierung des Bohrloches einige Monate (über das Winterhalbjahr) andauert.

Die Messungen erfolgen mit Ein- oder Halbmetersonden im Umschlagprinzip. Die Inklinometer im Längental werden ca. alle zwei Jahre gemessen; jene in Gepatsch im Jahres- bzw. Halbjahresrhythmus. Zusätzlich werden bei jeder Messung die Inklinometerköpfe geodätisch aufgenommen, um die Untergrundverformungen lagegenau darstellen zu können.

### Interpretation

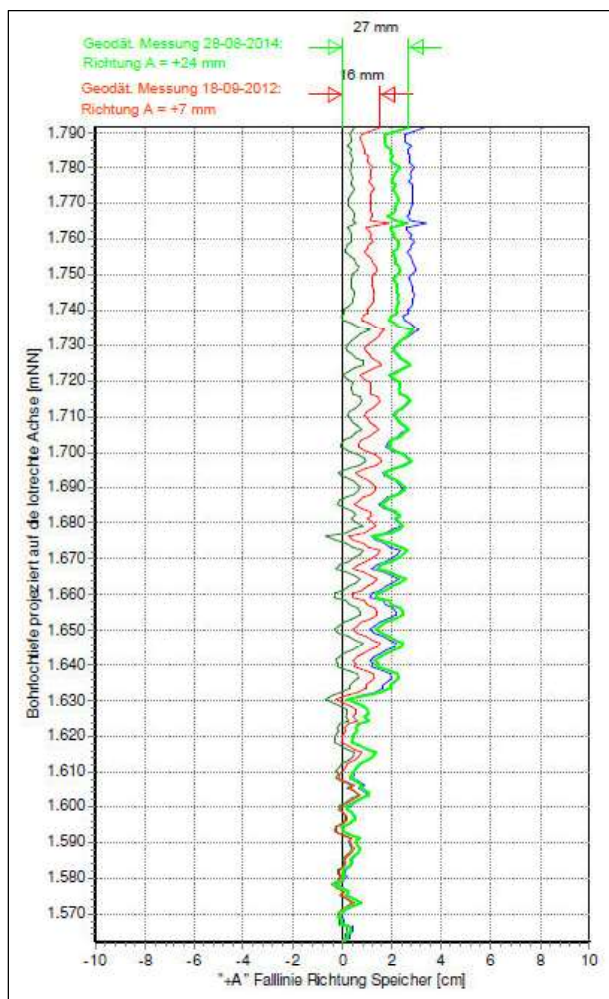
Bei der Interpretation von Inklinometermessungen werden exemplarisch zwei Messungen aus verschiedenen Bohrlöchern, abgeteuft an den Speicherhängen Gepatsch, dargestellt. Beim Einbau des Pegels mit Setzungsspiel bildet sich eine Gliederkette zwischen den Inklinometerrohren aus (Abb. 2); der Drehpunkt bildet sich in der Muffe des Pegels aus (siehe Abb. 1). Die Interpretation der Messung ist schwierig; die Detektion der basalen Scherzone dauert auf Grund des Pegelverlaufs deutlich länger als bei Inklinometern, welche ohne Setzungsspiel eingebaut wurden (Abb. 3). Beide Messungen wurden mit der Bedingung ausgewertet, dass der Bewegungsnullpunkt am Fuß liegt. In beiden Fällen, die Inklinometer reichen in das anstehende Gebirge, ist die Randbedingung bei der Auswertung gerechtfertigt.

### Resümee

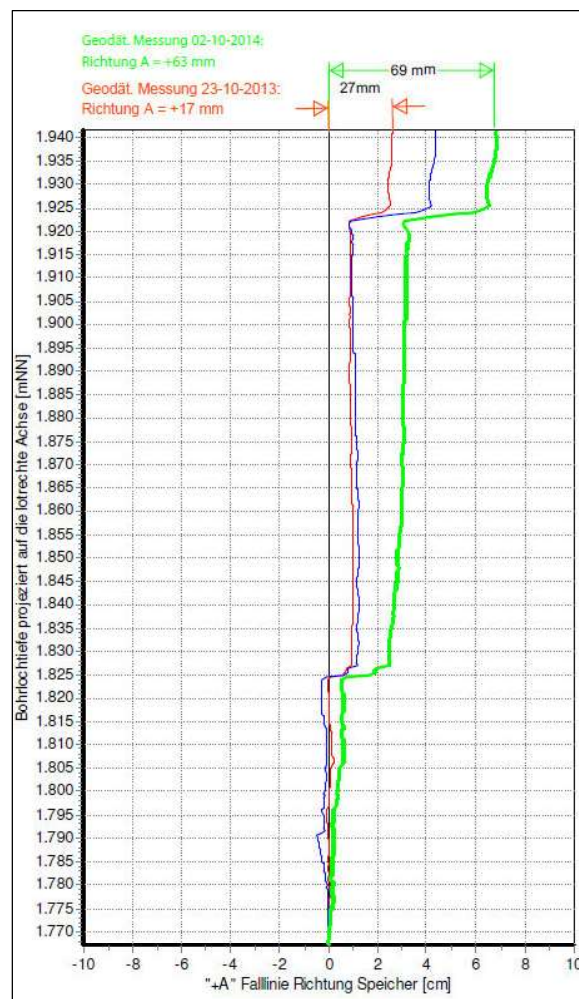
Auf Basis der gewonnenen Erfahrungen der letzten Jahre ist der Einbau von Inklinometern mit Setzungsspiel nicht zielführend. Die gemessenen Setzungsanteile der Pegel sind im Grunde schwer zu interpretieren bzw. sind die Nachteile in der Messung der Horizontalverformungen, auf Grund der Ausbildung einer Gliederkette im Bohrloch, groß. Bewährt hat sich die Kombination von Inklinometer mit

Grundwassermessstelle; neben der Messung von Verformungen und Grundwasserspiegelhöhen sind auch Rückschlüsse auf die Durchlässigkeit der stark zerlegten Massenbewegungen möglich.

Der größte Aufwand beim Einbau ergibt sich, wenn das Inklinometerrohr im Filtergewebeschauch in das Bohrloch eingebracht wird und die Injektionsschläuche mitgeführt werden müssen. Das Risiko sich das Inklinometer beim Einbau zu beschädigen, (z.B. durch aufschneiden/aufreißen des Filtergewebeschauchs beim Ziehen der Verrohrung mit aufgesetzter Krone, Abreißen der Injektionsschläuche) ist bei dieser Ausführungsvariante am größten. Bei wenig standfestem und zu durchlässigem Bohrloch bzw. Untergrund ist allerdings diese Art des Einbaus sowie das in Kauf nehmen eines höheren Einbaurisikos erforderlich.



**Abb. 2:** Einbau mit Setzungsspiel



**Abb. 3:** Einbau ohne Setzungsspiel