

Fallbeispiel zu Beitrag:

3. Eigenes Fallbeispiel: Das Otelfingen-Experiment: Abbildung von Infiltration mittels Geoelektrik

Ausgangslage und Zielsetzung

Als Masterarbeit untersuchte ich die Infiltration von Schneeschmelze am Rande des Aletschgletschers mittels Geoelektrik (engl. electrical resistivity tomography, ERT). Dafür sollte eine neue Installation entwickelt werden, welche während der Schneeschmelzperiode die präferenziellen Fließspfade im Untergrund abbildet. Die alpine Lage des Standorts stellte dabei eine grosse Herausforderung dar. Um an den Studienort zu gelangen, mussten zu Fuss rund eineinhalb Stunden gewandert und rund 600 Höhenmeter überwunden werden. Eine lückenlose Planung des Experiments sowie ein ausführlicher Test des Equipments waren deshalb sehr wichtig.

Um erste Erfahrungen mit geoelektrischen Infiltrationsmonitoring zu gewinnen, haben wir in Otelfingen ZH eine ERT-Linie aufgestellt, welche wir mit einem Sprinkler künstlich bewässert haben. Ziel war es, das Ideale Setup zu finde, um Infiltration im Untergrund hochauflösend abzubilden. Die zugrundeliegende physikalische Annahme war es, dass die Verteilung des elektrischen Widerstands im Untergrund hauptsächlich abhängig ist vom Wassergehalt. Wird nun der Wassergehalt im Untergrund erhöht, ändert sich auch die elektrische Leitfähigkeit, welche mittels ERT zeitlich aufgelöst abgebildet werden kann.

Installation und Experiment

Unsere Versuchsanordnung bestand aus Total 64 Elektroden, welche wir in einem Abstand von 0.5 m in einer Linie aufgestellt haben. Mit dieser Versuchsanordnung haben wir all zwei Stunden ein Messprotokoll bestehend aus 836 Dipole-Dipole und Multiple-Gradient Quadrupole ausgeführt. Gemessen wurde jeweils der scheinbare elektrische Widerstand (engl. apparent resistivity). Die Messung eines jeden Zeitschrittes dauerte rund 45 min.

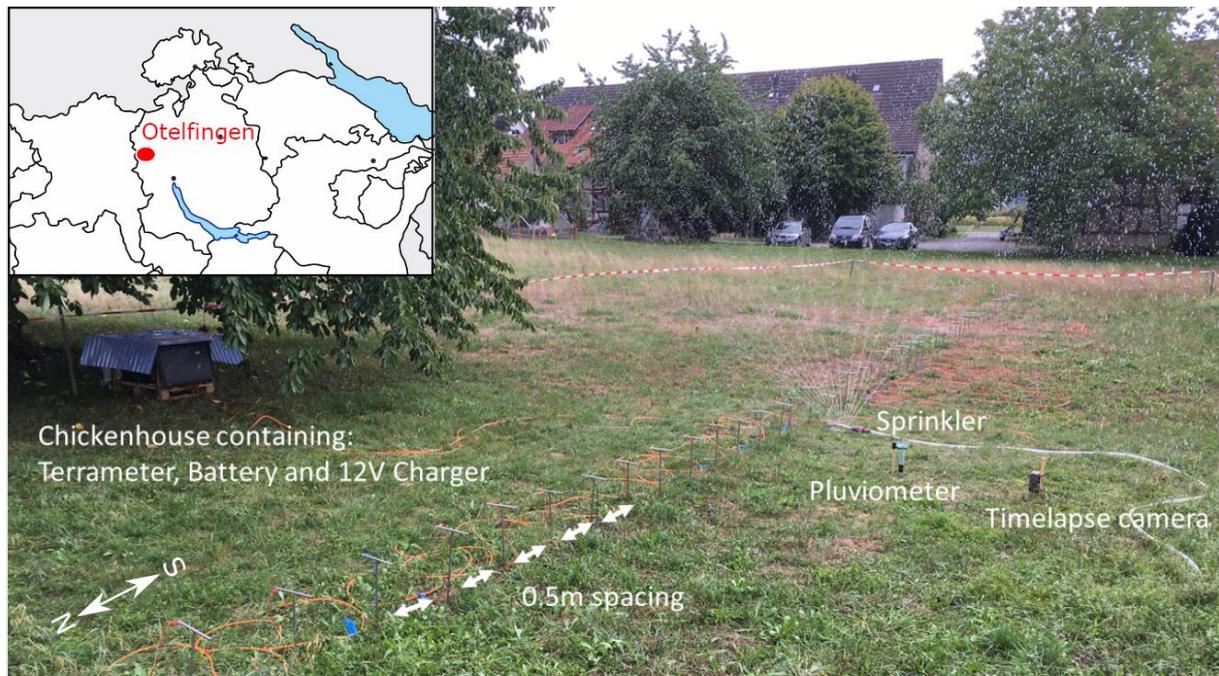


Abbildung 6: Übersicht über den Aufbau des Feldexperiments.

Nach einem Tag Einpendelzeit haben wir mit einem Sprinkler rund die Hälfte der Linie für fünf Stunden künstlich bewässert. Die Niederschlagsmenge wurde mit einem Pluviometer aufgezeichnet,

welcher von einer Kamera überwacht wurde. Im bewässerten Bereich wurden so rund 20 mm Niederschlag erzeugt.

Resultate und Auswertung.

Für die Auswertung wurden die Quadrupole-Messreihen zuerst gefiltert und dann invertiert. Während dem Filterschritt wurden alle fehlerhaften Quadrupole-Messreihen entfernt. Da die Inversion sehr anfällig auf fehlerhafte Datenpunkte ist, war dieser Schritt sehr wichtig.

Im zweiten Schritt wurden die Daten invertiert, um Abbild der Verteilung des elektrischen Widerstands im Untergrund zu erhalten. Für die Invertierung nutzen wir die Python-Packages `pygimli` und `pybert`, welche u.a. von Florian Wagner mitentwickelt wurden. Zuerst konzentrierten wir uns darauf, eine gute Baseline zu erhalten, welche nachher als Basis für die time-lapse Auswertung dienen sollte. Die Inversion der Baseline zeigt grob drei verschiedene Bestandteile des Untergrunds. Zuerst wurde die Bodenschicht abgebildet. Der Boden verfügte über eine gewisse Grundfeuchte, weshalb ein tieferer elektrischer Widerstand gemessen wurde. Unterhalb der Bodenschicht wurde ein Körper mit einem etwas höheren, aber nicht allzu hohen elektrischen Widerstand festgestellt. Dabei handelt es sich gemäss geologischer Karte um einen Hanglehm. Diese Interpretation passt gut ins Modell, da Hanglehm generell über eine schlechte Durchlässigkeit verfügt (tiefer Wassergehalt = höherer elektrischer Widerstand). Als drittes Feature wurde im nördlichen Bereich des Profils ein runder Körper mit einem sehr tiefen elektrischen Widerstand festgestellt. Dabei handelt es sich sehr wahrscheinlich um eine Leitung.

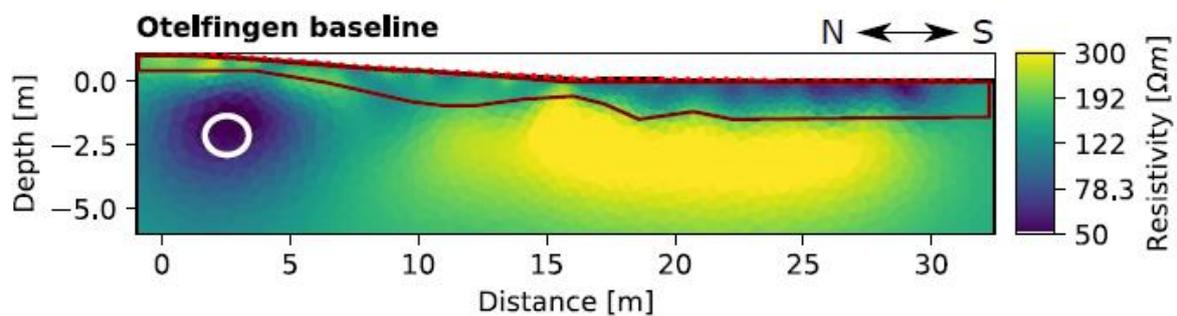


Abbildung 7: Inversion der Baseline. Das braune Polygon umrandet die Ausdehnung der Bodenschicht und der weiße Kreis eine Leitung.

Um nun den Einfluss der Infiltration sichtbar zu machen, berechneten wir das Verhältnis der Verteilung des elektrischen Widerstands im Untergrund während den verschiedenen Messzeiten zur Verteilung des elektrischen Widerstands der Baseline. Dabei nehmen wir an, dass der elektrische Widerstand im Untergrund in den Bereichen abnimmt, wo der Wassergehalt aufgrund der Bewässerung zunimmt. Diese Abnahme ist in den Resultaten gut erkennbar. Ein Vergleich der verschiedenen Zeitschritten zeigt, dass das Wasser durch den Boden sickert, wo es dann vom Hanglehm aufgrund dessen schlechten Durchlässigkeit gestaut wird.

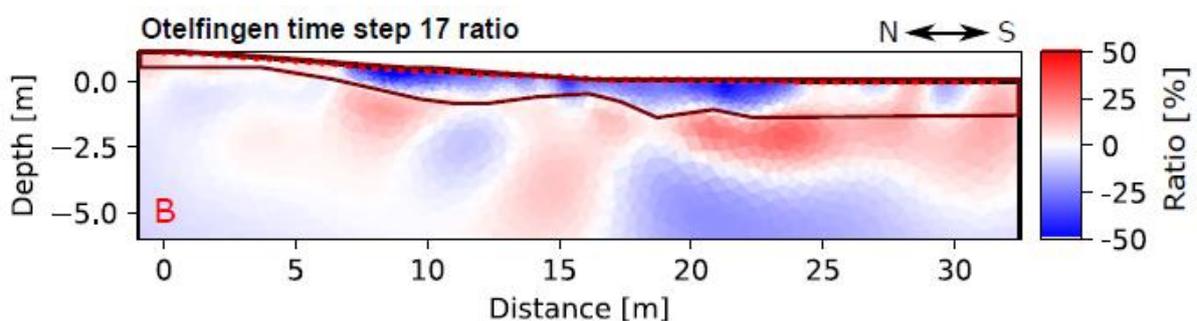


Abbildung 8: Die Figur zeigt das Verhältnis zwischen dem ersten und dem 17. Zeitschritt.

Fazit

Timelapse-ERT erlaubt es, Änderungen des Wassergehalts in der ungesättigten Zone abzubilden und so den Infiltrationsprozess abzubilden. Da Infiltration ein langsamer Prozess ist, ist eine hohe räumliche Auflösung einer hohen zeitlichen Auflösung zu bevorzugen. Ebenfalls ist es wichtig, möglichst viele Quadrupols zu messen, da durch das Filtern gut und gern 20–30 % der Datenpunkte verloren gehen. Entscheidend für den Erfolg des ERT-Monitorings ist eine gute Baseline, da auf deren Grundlage die zeitlichen Änderungen im Untergrund berechnet werden. Zudem erlaubt eine gute Baseline eine Beschreibung der relevanten Strukturen im Untergrund.

Quelle: Berger, C. (2019): Spatial and temporal imaging of snowmelt infiltration in an alpine slope using electrical resistivity tomography. Master thesis. ETH Zürich.