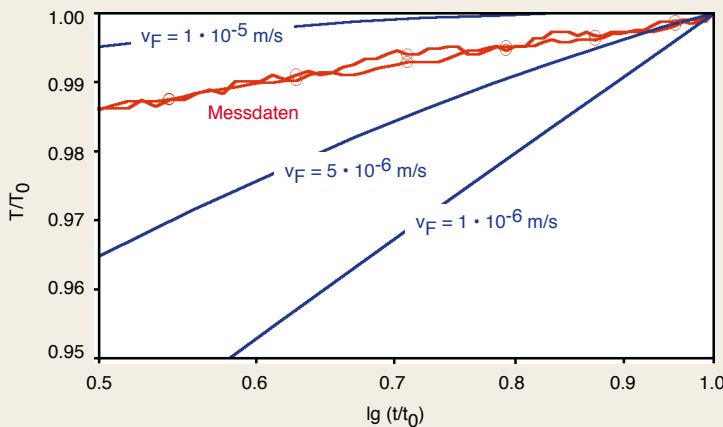


Wasserbau • Bei Dämmen und Deichen stellen Erosionsprozesse wie Suffusion und Piping eine der häufigsten Ursachen für schwere Schäden und Dambrüche dar. Eine mögliche innere Erosion wird einerseits durch Konstruktionsmerkmale wie Filterdesign, Aufbau, Korngrößenverteilung und Korngeometrie und andererseits durch die hydrodynamischen Verhältnisse im Damm, bestimmt. Die allgemeinen Konstruktionsmerkmale sind oft gut bekannt, in den meisten Fällen aber ist nur sehr wenig Information über die wahren lokalen hydrodynamischen Verhältnisse verfügbar. Durch Inhomogenitäten aufgrund von Konstruktionsmängeln, lokalen Deformationen und Materialheterogenitäten können die hydrodynamischen Parameter von Ort zu Ort sehr stark variieren. Der kritischste hydrodynamische Parameter für Materialtransport durch Sickerwasser ist die lokale Porengeschwindigkeit. In Bereichen mit hoher Porengeschwindigkeit ist das Einsetzen der inneren Erosion am wahrscheinlichsten. Bisher wurde die kritische Porengeschwindigkeit, bei der Materialtransport einsetzt, theoretisch aus der Korngrößenverteilung und dem hydraulischen Gradienten bestimmt.

Heat-Pulse-Methode • Die Anwendbarkeit theoretisch bestimmter kritischer Porengeschwindigkeiten ist sehr begrenzt und in den meisten Fällen fragwürdig. Zur Bearbeitung dieser Fragestellung wurde von GTC® ein spezielles Messverfahren – die Heat-Pulse-Methode (HPM) – entwickelt. Mit der HPM ist es möglich, Porengeschwindigkeiten im Bereich von 10^{-7} m/s bis zu 10^{-3} m/s zu messen. Somit kann der wichtige hydrodynamische Parameter, die Porengeschwindigkeit, in situ bestimmt werden.



Ein Vergleich zwischen berechneten Temperatur-Zeitkurven (blaue Linien) und Temperaturen, die in 10 m Tiefe in einem Damm gemessen wurden (rote Linien). Die Temperaturen sind mit der erreichten Endtemperatur T_0 normiert und über die mit der Gesamtheizdauer t_0 normierten Zeit logarithmisch aufgetragen. Drei verschiedene Filtergeschwindigkeiten v_F sind hier dargestellt. Ein Vergleich der gemessenen Kurven mit den berechneten ergibt Filtergeschwindigkeiten von ca. 8×10^{-6} m/s.

Verfahrensbeschreibung • Mit einer zylinderförmigen Heizsonde wird eine definierte Temperaturstörung in den Damm eingebracht. Abhängig von der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität, sowie der Fließgeschwindigkeit des Sicker- bzw. Grundwassers ist während der Heizphase ein spezifischer Temperaturanstieg zu beobachten. Fluidbewegungen sind immer mit einem advektiven Wärmetransport verbunden, der den konduktiven Anteil schon bei Fließraten von 10^{-7} m/s überschreitet. Vergleicht man den gemessenen Temperaturanstieg mit numerisch berechneten Werten, so ist es möglich die Porengeschwindigkeit des Fluids zu bestimmen.

Um die Wärmequelle und die Temperatursensoren im Boden zu installieren, werden diese in ein Hohlgestänge von geringem Durchmesser, das zuvor in den Boden eingerammt wurde, analog zum Temperatursondiervorgang eingeschoben. Abhängig von der Korngrößenverteilung, der Verdichtung und dem Bodenaufbau können so 35 bis 40 Meter Tiefe erreicht werden. Nach dem Einschalten der Wärmequelle steigt die Temperatur in der Sonde zunächst rasch an. Der Temperaturanstieg verläuft aber mit zunehmender Heizdauer immer flacher und strebt asymptotisch gegen einen Grenzwert.

Der zeitliche Verlauf des Temperaturanstiegs wird von der Effektivität des Wärmeabtransports bestimmt. Findet in der Umgebung der Sonde keine Fluidbewegung statt, so ist die Endtemperatur hoch und wird nur langsam erreicht. Je mehr Fluid an der Wärmequelle vorbeiströmt um so effektiver wird der Abtransport der Wärme, d. h. die Endtemperatur ist viel niedriger und wird in viel kürzerer Zeit erreicht. Wird die Wärmequelle abgeschaltet, kann ein ähnliches Phänomen beobachtet werden. Ohne Fluidbewegung ist der Abkühlprozess langsam und die ungestörte Temperatur wird erst nach langer Zeit erreicht, hohe Fließgeschwindigkeiten führen zu einem deutlich schnelleren Angleich an die Ausgangstemperatur.

Beide Prozesse (Aufheizen und Abkühlen) können numerisch für verschiedene Materialparameter (Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Porosität), Fließgeschwindigkeiten und Quellstärken berechnet werden. Durch den Vergleich der gemessenen mit den berechneten Temperatur-Zeitkurven ist es dann möglich, die Porengeschwindigkeiten in der Umgebung der Sonde zu bestimmen. Die horizontale Eindringtiefe der HPM hängt von der Heizdauer, der Quellstärke und der Fließgeschwindigkeit ab.

Neben der Kombination der HPM mit dem Temperatursondierverfahren kann das Aufheizverfahren auch bei faseroptischen Temperaturmess-Systemen angewendet werden. Dabei wird ein sogenanntes Hybrid-Glasfaserkabel eingesetzt, d. h. zusätzlich zu den, für die Temperaturmessung benötigten Lichtwellenleitern sind auch metallische Leiter, üblicherweise Kupferadern, in den Kabelaufbau integriert. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung und entsprechender Schaltung fließt ein Kurzschlussstrom durch die metallischen Leiter und erwärmt dabei das Kabel. Der Ablauf der Messung und die Auswertung erfolgen dann analog zu dem oben beschriebenen Verfahren.

Spezialtiefbau / Geothermie / Betonbau / Hydrogeologie • Im Spezialtiefbau kommt das HPM-Verfahren ebenfalls zur Anwendung. Es wird hier vorrangig zur Ortung von Leckagen an Dichtungssystemen eingesetzt. Im Bereich der geothermischen Energiegewinnung wird das Verfahren zur Überprüfung der Effizienz von Erdwärmesonden genutzt. Beim Betonbau können mittels HPM die thermischen Materialparameter des Beton in situ bestimmt werden. Bei hydrogeologischen Fragestellungen kommt sie zur Messung von Grundwasserfließgeschwindigkeiten in Sedimenten und beim Fluid-Logging in Bohrungen zum Einsatz.

Frost-Pulse-Methode • Für Anwendungen, bei welchen das Aufheizverfahren zu zeitaufwendig erscheint, wurde von GTC® die Frost-Pulse-Methode FPM entwickelt. Diese stellt ebenfalls eine Kombination mit dem Temperatursondierverfahren dar. Im Gegensatz zur HPM wird hier jedoch ein Kältemittel eingesetzt. Dieses wird nach dem Einbau der Messgestänge in das Hohlrohr eingebracht. Mit Temperaturmessketten wird anschließend der Temperaturanstieg gemessen und vergleichbar mit der HPM ausgewertet. Dieses Verfahren bietet den Vorteil, dass keine elektrische Energie zur Verfügung stehen muss, und dass sehr viele Mess-Sonden nahezu zeitgleich gemessen werden können.



Installation eines Hybrid-Glasfaserkabels in der Asphalt-Oberfächendichtung der Ohratalsperre in Thüringen. Hier wird die Heat-Pulse-Methode zur Leckortung eingesetzt