

Talsperre Dornau - flächige Überwachung mittels faseroptischem Retrofitsystem

Die Talsperre Dornau am Lech wird durch ein sogenanntes Mittelwasserbecken am luftseitigen Dammfuß rückwärtig eingestaut. In 2022 wurde ein faseroptisches Messsystem zur Überwachung der Durchsickerung durch nachträgliche Installation von Glasfaserleitungen in 21 Sondierungen im bestehenden Damm (Retrofit-Verfahren) installiert. Die Instrumentierung mit Glasfaser-Kupfer-Hybridkabeln ermöglicht, dass sowohl die Gradientenmethode als auch die Heat-Pulse-Methode zur Überwachung angewandt werden können.

Axel Fabritius, Franz Lutz, Andreas Bauer und Tobias Liepert

1 Ausgangssituation Talsperre Dornau

Der Staudamm der Talsperre Dornau wurde 1960 fertig gestellt und als Kiesschüttdamm mit Lehmkerndichtung errichtet. Ein Mittelwasserbecken wurde aufgrund der unterhalb liegenden Papierfabrik zum Einweichen von Baumstämmen angelegt. Durch den rückwärtigen Einstau des Damms entfällt die Möglichkeit einer konventionellen Sickerwassermessung am Dammfuß. Seit einigen Jahren wurden am Dammfuß der Talsperre Dornau auffällige Messwerte registriert, welche auf eine Durchströmung hindeuten könnten. Um die Überwachung der Gründungsfuge zwischen Dammkern und anstehendem Untergrund zu verbessern und mögliche nachteilige Entwicklungen frühzeitig erkennen zu können, wurde ein faseroptisches Überwachungssystem im Damm installiert. Grundlage des Überwachungssystems sind verteilte faseroptische Temperaturmessungen entlang von Glasfaserkabeln, die in geneigten Bohrungen von der Dammkrone im luftseitigen Filter installiert wurden. Dichtungsüberwachungssysteme dieser Art sind bereits bei einer Reihe von Dämmen weltweit installiert worden [3], [5], [8]. Die Installation des Messsystems wurde von Januar bis Juli 2022 durchgeführt, wobei das sogenannte Retrofit-Verfahren angewandt wurde, um Glasfaserleitungen nachträglich im Damm zu installieren.

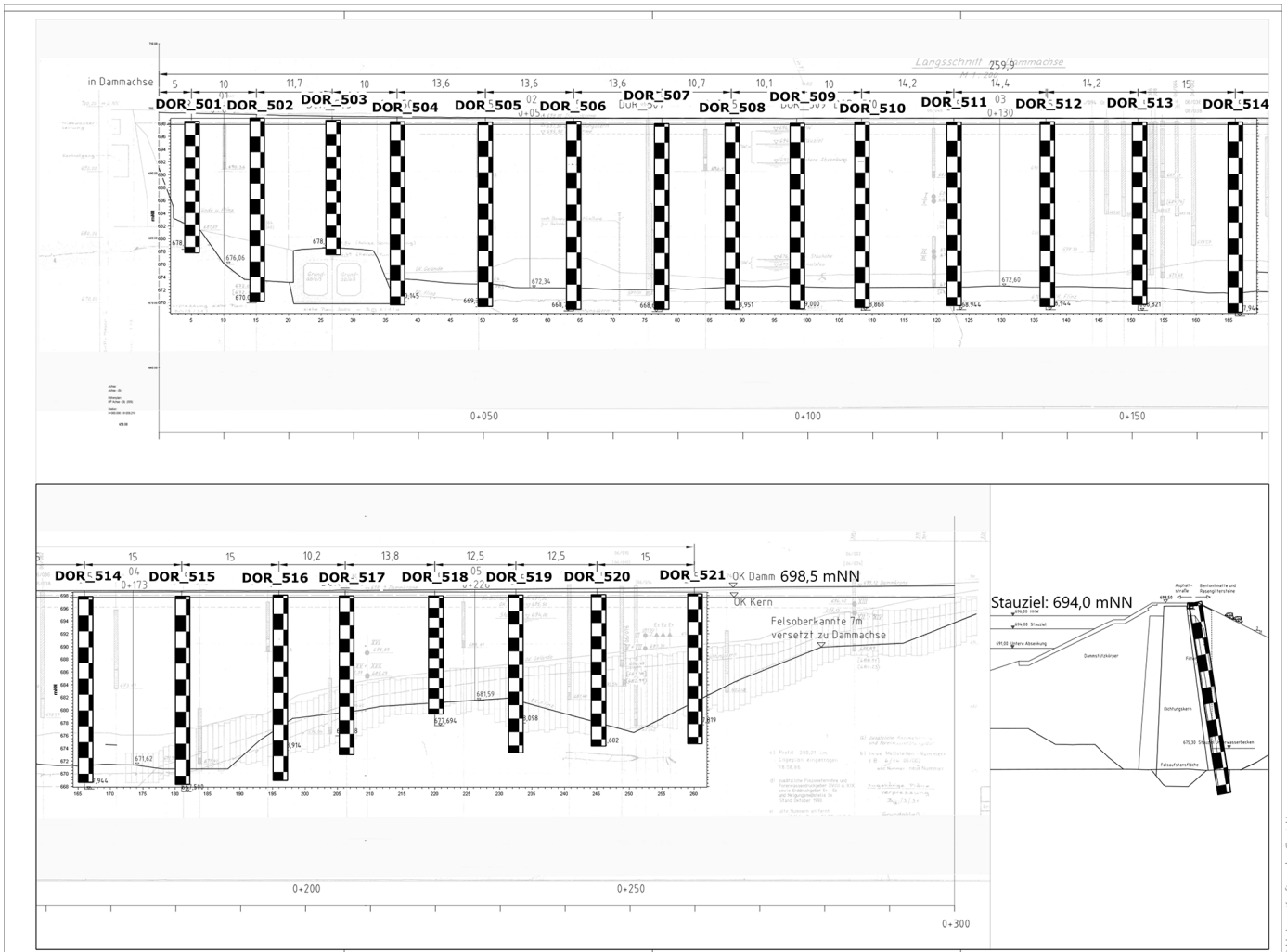
2 Faseroptische Leckortungsmethode

Die Temperaturverteilung innerhalb eines Dammkörpers kann durch Sickerwassereinströmung beeinflusst werden, da

Kompakt

- Auffällige Messwerte gaben Anlass zur Installation eines Überwachungssystems an der Talsperre Dornau.
- Ein Faseroptisches Messsystem zur thermischen Leckortung wurde im Retrofit-Verfahren installiert.
- Erstmals ist eine flächige Überwachung über die gesamte Dammlänge möglich.

der advective Wärmetransport im Vergleich zur im intakten Damm dominierenden Wärmeleitung sehr effektiv ist. Temperaturmessungen sind deshalb als Nachweis von Durchströmungen in Erddämmen gut geeignet. Verteilte faseroptische Temperaturmessungen ermöglichen die annähernd kontinuierliche Bestimmung der Umgebungstemperatur entlang einer Glasfaserleitung bis zu mehreren Kilometern Länge und bieten somit eine hohe räumliche Dichte und große Flexibilität zur Messung von Temperaturänderungen innerhalb eines Dammkörpers [4]. Bei einer ausreichenden Temperaturdifferenz zwischen Wasser- und Bodentemperatur ist die aus Sickerströmen resultierende Verringerung des Temperaturgradienten durch faseroptische Messungen aufgrund ihrer hohen Informationsdichte meist eindeutig detektier- und lokalisierbar. Die Temperaturverteilung in Stauseen und dem Untergrund reagiert phasenversetzt auf jahreszeitliche Änderungen der Umgebungstemperatur, wodurch der benötigte Temperaturunterschied im Regelfall vorhanden ist. Dieses als Gradientenmethode bezeichnete Verfahren hat sich seit langem in vielen Anwendungen weltweit bewährt, um Sickerwasserinfiltrationen zu detektieren [9], [1], [2]. In bestimmten Fällen, bei denen keine ausreichende Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Untergrund besteht, z. B. weil die Verlegung der Glasfasern in einem Bereich sehr nahe am Wasserkörper erfolgt ist, kann ein alternatives Verfahren angewendet werden, das auf Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit entlang des Sensorkabel ausgelegt ist. Bei dieser sogenannte Heat-Pulse-Methode wird ein faseroptisches Hybridkabel verwendet, welches sich durch elektrischen Stromfluss durch die im Kabel vorhandenen Kupferadern aufheizen lässt. Somit wird ermöglicht, die Kabelumgebung durch eine kontrollierte Heizleistung zu erwärmen. Durch Temperaturmessungen entlang des Kabels während des Aufheizvorgangs lassen sich Zonen erhöhter Wärmeleitfähigkeit bestimmen, welche wiederum auf Sickerwasserströme schließen lassen [7], [6]. Das Leckageortungssystem der Staustufe Dornau ist standardmäßig auf die Gradientenmethode ausgelegt. Durch Verwendung eines faseroptischen Hybridkabels wird jedoch ermöglicht, dass auch die Heat-Pulse-Methode zur Anwendung kommen kann.



© Uniper Kraftwerke GmbH

Bild 1: Übersicht Bohrungen im Dammkörper

3 Spezifikation Monitoring-System

3.1 Installation

Zur Einbringung der Messkabel im Damm wurden 21 geneigte Kernbohrungen im luftseitigen Filter parallel zum Lehmkern abgeteuft. Die Bohrungen reichen jeweils bis 3,5 m unter der Dammaufstandsfläche, mit Ausnahme der Sondierung DOR_503 welche an der Oberkante des Grundablassbauwerks endet. Der Abstand zwischen den Bohransatzpunkten auf der Dammkrone beträgt zwischen 10 m und 15 m. Bild 1 zeigt die Lage der Sondierbohrungen im Längs- und Querschnitt des Damms. In den Bohrungen wurden die Hybridkabel-Segmente schleifenförmig installiert. Die thermische Anbindung an das umgebende Erdreich erfolgte durch Verpressung der Kabelumgebung mit Zement-Bentonit-Suspension. Auf der Dammkrone oberhalb der jeweiligen Bohransatzpunkte wurden Schächte angeordnet, die den Zugang zu den Bohrungen und den Sensor-kabeln für eventuelle Wartungsarbeiten ermöglichen. Zur Verlegung der Glasfaser-Hybrid-Verbindungs-kabel entlang der Dammachse wurden Leerrohre zwischen den Schächten installiert. Die einzelnen Kabelsegmente



© Solexperts GmbH

Bild 2: Unterbringung der Messtechnik

wurden mittels Fusionsspleißverbindungen in den Schächten verbunden.

3.2 Datenerfassung

Die faseroptische Überwachung des Dammes erfolgt über zwei durchgängige Faserschleifen, die den Damm alternierend durchlaufen. Die erste Schleife durchläuft die Bohrungen mit ungerader Nummerierung, die zweite Schleife die Bohrungen mit gerader Nummerierung. Bei Ausfall oder Beschädigung einer Messschleife lässt sich somit weiterhin die gesamte Dammstrecke überwachen, wenn auch mit geringerer räumlicher Abdeckung. Die elektronischen Komponenten der Messtechnik sind in einem separaten Betriebsraum untergebracht und in **Bild 2** gezeigt. Datenaufzeichnung, Prozessierung, Upload sowie eventuelle Alarmauslösung erfolgen vor Ort. Die komplette Messung einer Schleife wird innerhalb von zwei Minuten durchgeführt, beide Schleifen werden dabei abwechselnd gemessen. Anschließend wird ein stündlicher Mittelwert der Messwerte gebildet. Eine Kontrolle und Korrektur der faseroptischen Temperaturen wird mit klassischen Widerstandsthermometern durchgeführt. Neben Überwachung der Bodentemperaturen innerhalb des Dammbauwerks findet eine Messung der Wassertemperatur im Stausee bis in ca. 9 m Tiefe statt, um eine Korrelation zwischen Wasser- und Bodentemperatur untersuchen und somit die Größenordnung einer möglichen Sickergeschwindigkeit bestimmen zu können. Zusätzlich zur Überwachung von Absoluttemperaturen ist die Möglichkeit einer Aufheizmessung implementiert. Bei Bedarf einer differenzierteren Überprüfung lässt sich das Aufheizverhalten der LWL-Kupfer-Hybridkabel bei definierter, gleichbleibender Heizleistung messen. Die Temperaturdifferenz zwischen ungestörter Ausgangstemperatur und Temperatur am Ende der Aufheizung gibt Aufschluss über den Wärmetransport im Damm. Aus dem Abkühlvorgang der Kabel lässt sich außerdem die scheinbare Wärmeleitfähigkeit berechnen.

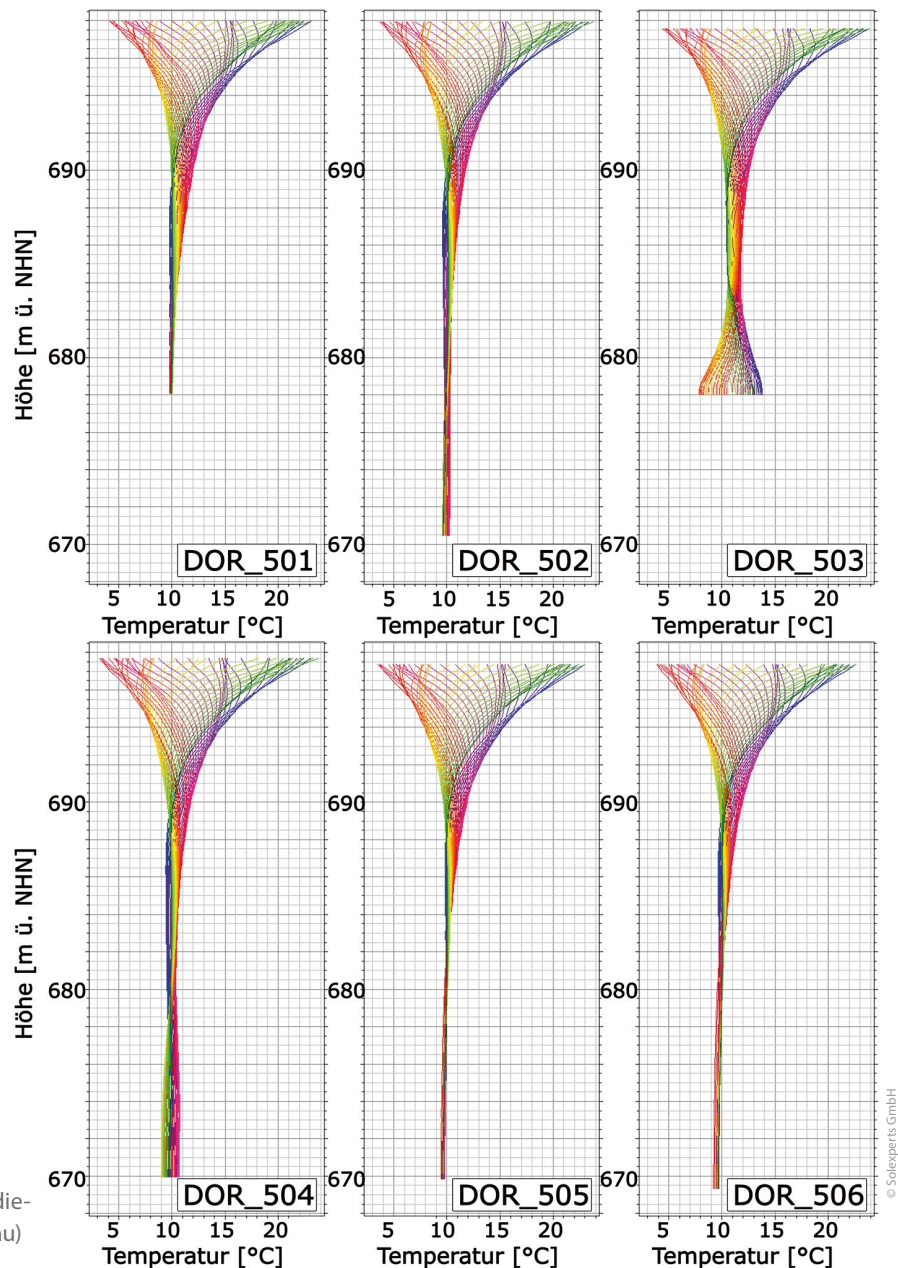
Bild 3: Tagesmittelwerte ausgewählter Sondierungen über den Zeitraum August 2022 (blau) bis August 2023 (grün)

3.3 Alarmierung

Eine automatisierte Alarmauswertung erfolgt im System durch Überwachung von Temperaturänderungen. Zur Abschätzung von Fließgeschwindigkeiten werden Temperaturgradienten über verschiedene Zeiträume überwacht. Gemäß eines Ampelsystems werden bei langsamer oder schneller Temperaturänderung verschiedene Alarme generiert.

3.4 Visualisierung

Als zentraler Zugang zum Messsystem dient ein Online-Portal. Hier werden zum einen aktuelle und vergangene Messwerte dargestellt, ebenso Ort und Zeit ausgelöster eventueller Alarme. Wichtige Funktionen des Betriebs sind ebenfalls über das Portal zugänglich, so lassen sich zum Beispiel Alarme online quittieren oder Heat-Pulse-Messungen starten.



© Solexperts GmbH

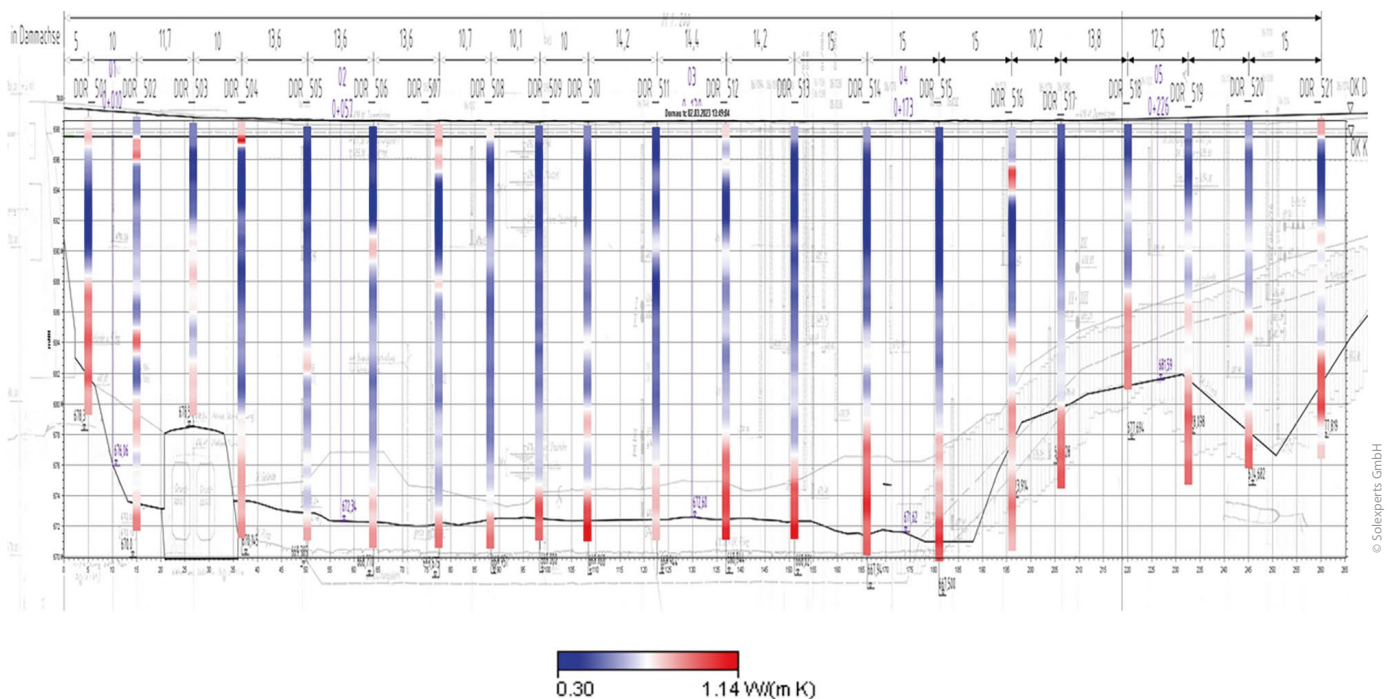


Bild 4: Darstellung der ermittelten Wärmeleitfähigkeiten aus einer Heat-Pulse-Messung

4 Erkenntnisse aus der Überwachung

4.1 Gradientenmethode

Nach einem vollen Jahr des Messbetriebs konnte der komplette Jahresgang der Erdtemperaturen bewertet werden. Die Temperaturprofile in den Sonden weisen eine hohe Datenqualität auf und folgen größtenteils dem Jahresgang eines ungestörten und nicht von Sickerwasser beeinflussten Temperaturverlaufs. Eine nennenswerte Ausnahme bildet der Bereich um den Grundablass am nordwestlichen Ende des Damms. **Bild 3** zeigt den Einfluss des Grundablassbauwerks auf die Temperaturen im Damm. Während die Sonden DOR_501, DOR_505 und DOR_506 einen normalen jahreszeitlichen Temperaturgang aufweisen, sind die Sonden DOR_502 und DOR_504 in der Tiefe bereits geringfügig beeinflusst. Die Sonde DOR_503 hingegen reicht bis an die Oberkante des Bauwerks und ist deutlich durch die variablen Temperaturen im Grundablass beeinflusst. Die gemessenen und für diese Tiefe abnormalen Bodentemperaturen sind auf dessen konduktiven Wärmeeintrag in den Damm zurückzuführen.

4.2 Heat-Pulse-Methode

Ergebnisse für die Wärmeleitfähigkeit einer Heat-Pulse-Auswertung sind in **Bild 4** dargestellt. Die Messwerte liegen größtenteils im Bereich typischer Werte von im Wasserbau verwendeter Lockergesteine und es sind keine Anzeichen einer Durchströmung des Damms festzustellen. Ein generelles Ansteigen der Wärmeleitfähigkeiten in den tiefen Sondenbereichen würde jedoch eine höhere Durchfeuchtung des Damms in der Tiefe anzeigen.

5 Ausblick

Durch die Ausstattung der Talsperre Dornau mit faseroptischer Messtechnik zur verteilten Temperaturmessung hat der Damm ein modernes und hochsensitives Überwachungssystem erhalten. Stabile Temperaturmesswerte mit hoher räumlicher Auflösung ermöglichen eine hohe Sensitivität auf geringe Temperaturänderungen. Bereits kleinste Sickerwasserströme können durch die Gradientenmethode zuverlässig erkannt werden. Als weiteres Instrument für eine tiefere Untersuchung steht bei Bedarf die Heat-Pulse-Messung zur Verfügung. Somit kann der Damm erstmalig seit seiner Inbetriebnahme vor über 60 Jahren auf seiner gesamten Länge flächig überwacht werden.

Autoren

Dipl.-Geophys. Axel Fabritius
Franz Lutz, Ph. D.
 Solexperts GmbH
 Ostring 8a
 76131 Karlsruhe
 axel.fabritius@solexperts.com
 franz.lutz@solexperts.com

Dr.-Ing. Andreas Bauer
 Uniper Kraftwerke GmbH
 Luitpoldstraße 27
 84034 Landshut
 andreas.bauer@uniper.energy

Dr.-Ing. Tobias Liepert
 Uniper Kraftwerke GmbH
 Johann-Schmidt-Str. 11
 86899 Landsberg am Lech
 tobias.liepert@uniper.energy

Axel Fabritius, Franz Lutz, Andreas Bauer and Tobias Liepert

Dornau dam - spatially dense monitoring using fibre optic retrofit installation

Dornau dam is situated along Lech River. A secondary downstream reservoir causes impounding of the embankment on the downstream side. In recent years, observations that could imply leakage through the dam were made. Since direct leakage measurements at the dam toe are not possible due to the upstream impounding, it was decided to install a fibre-optic monitoring system through retrofit installation of hybrid fibre optic cables. Leakage monitoring is based on distributed temperature sensing of the internal dam temperature. From the dam crest, 21 boreholes were drilled to depths of 3,5 m below dam base. Cable loops were installed in the boreholes before they were grouted. The individual cable segments were connected to form two measurement loops spanning the entire length of the dam. Temperature gradients are continuously monitored to assess leakage. Operators are informed through an automated alarm evaluation if temperature gradient thresholds are exceeded. Heat-pulse measurements can also be performed to complement gradient measurements. After one year of operation, the monitoring system has proven to provide a reliable data acquisition with high-quality measurements. No indications for leakage are currently present, however will be identified at an early stage in the future if the situation should change.

Literatur

- [1] Armbruster, H.; Dornstädter J.; Kappelmeyer O.; Tröger L.: Detection of seepage and flow phenomena by temperature measurements in soil. In: Hötzl, H.; Werner, A. (eds.): Tracer Hydrology - Proc. of the 6th Int. Symp. on Water Tracing. Rotterdam: A. A. Balkema Verlag, 1992.
- [2] Armbruster, H.; Dornstädter J.; Kappelmeyer O.; Tröger L.: Thermometrie zur Erfassung von Schwachstellen an Dämmen. In: Wasserwirtschaft 83 (1993), Heft 4.
- [3] Aufleger M.; Dornstädter J.; Huber K.; Strobl T.: Sensitive Long-Term-Monitoring of Embankment Dams by Fibre Optic Temperature Laser Radar: First Results. In: ICOLD (Hrsg.): XIX. ICOLD Congress. Florenz, 1997, Q. 74-14.5, S. 443-446.
- [4] Aufleger M.; Dornstädter J.; Strobl T.: Innovative Dam Monitoring Systems. In: Proceedings of the International Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety. Barcelona, 1998.
- [5] Aufleger M.; Dornstädter, J.; Strobl, T.; Conrad, M.; Perzmaier, S.; Goltz, M.: 10 Jahre verteilte faseroptische Temperaturmessungen im Wasserbau. In: WasserWirtschaft 97 (2007), Heft 10, S. 57-49.
- [6] Aufleger M.; Goltz, M.; Perzmaier, S.; Dornstädter, J.: Integral seepage monitoring on embankment dams by the DFOT heat pulse method. In: Proceedings of the 1st International Conference on Long Time Effects and Seepage Behavior of Dams. 2008.
- [7] Dornstädter J.: Detection of Internal Erosion in Embankment Dams. In: ICOLD (Hrsg.): XIX. ICOLD Congress. Florenz, 1997, Q. 73, R. 7.
- [8] Fabritius, A.; Rupp C.; Bauer A.; Kottke-Wenzel B.: Neues faseroptisches Überwachungssystem am Damm Roßhaupten. In: WasserWirtschaft 110 (2020), Heft 9, S. 40-45.
- [9] Kappelmeyer, O.: The use of near surface temperature measurements for discovering anomalies due to causes of depth. In: Geophysical prospecting 5 (1957), Nr. 3 (doi.org/10.1111/j.1365-2478.1957.tb01431.x).

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-024-2337-5>

WASSERWIRTSCHAFT

Das Fachmagazin für Wasser und Umwelt.



Fundierte Berichte aus Forschung und Wissenschaft – WasserWirtschaft bietet hohe technologische Kompetenz durch praxisnahe Fachbeiträge. Nutzen Sie den Vorteil der zehn Printausgaben im Jahr zum Vorzugspreis und exklusiv dem **interaktiven e-magazin** mit der beeindruckenden **Wissensdatenbank des Onlinearchivs** mit pdf-Download.

www.meinfachwissen.de/wawi

