

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Laursen, Charlotte; Dornstädter, Jürgen**

## **Bodentemperaturmessungen - Donauseitendämme Stauhaltung Straubing Beurteilung der Schmalwand als dauerhaft wirkendes Dichtungselement**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101879>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Laursen, Charlotte; Dornstädter, Jürgen (2011): Bodentemperaturmessungen - Donauseitendämme Stauhaltung Straubing Beurteilung der Schmalwand als dauerhaft wirkendes Dichtungselement. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Geohydraulische Erkundungsverfahren. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 15-23.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Bodentemperaturmessungen – Donauseitendämme Stauhaltung Straubing Beurteilung der Schmalwand als dauerhaft wirkendes Dichtungselement**

Dipl.-Ing. Charlotte Laursen, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Abteilung Geotechnik  
Dipl.-Geophys, Jürgen Dornstädter, GTC Kappelmeyer GmbH, Karlsruhe

### **1 Einleitung**

Im Rahmen der Überprüfung der Standsicherheit der Dämme an den Bundeswasserstraßen wurden Standsicherheitsberechnungen für den rechten Donauseitendamm Donau-km 2329,8 bis 2332,8 der Stauhaltung Straubing durchgeführt. Diese Berechnungen ergaben in der außergewöhnlichen Bemessungssituation unter Berücksichtigung eines hydraulischen Versagens der Schmalwand als Dichtungselement erhebliche Standsicherheitsdefizite. Mögliche Maßnahmen zur Herstellung der erforderlichen Sicherheit sind sehr kostenintensiv und aufgrund der örtlichen Situation nur mit sehr hohem Aufwand zu realisieren.

Im neuen Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011, wird die Möglichkeit eröffnet auf den Ansatz eines hydraulischen Versagens von Innendichtungen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation zu verzichten, wenn die Dichtwirkung der Innendichtung durch eine Funktionsprüfung sichergestellt wird oder wenn die Dichtung eine hohe Systemsicherheit aufweist.

Um die derzeitige Dichtwirkung der Schmalwand zu überprüfen wurden in der untersuchten Dammsstrecke Grundwasserstandsmessungen und Bodentemperaturmessungen durchgeführt. Diese Messungen werden nachfolgend beschrieben und hinsichtlich der Berücksichtigung der Dichtwirkung der Schmalwand in der außergewöhnlichen Bemessungssituation bewertet.

### **2 Situation**

Im Bereich der Stauhaltung Straubing wurde im Zuge des Ausbaus der Donau ein einmündender Bach, die Laber, auf einer Länge von ca. 3 km verlegt. Vom ehemaligen Mündungsbereich der Laber in die Donau bei ca. Donau-km 2332,5 bis zur Mündung unterhalb der Staustufe wurde unmittelbar an den Donaudamm angrenzend ein künstliches Gewässerbett, der sogenannte Laberableiter, geschaffen (Bild 1 und Bild 2). Begrenzt wird dieses Gewässerbett donauseitig durch den rechten Donaudamm und landseitig durch einen Hochwasserschutzdeich, den Laberdeich.



*Bild 1: Rechter Donauseitendamm, km 2331,650, Blick in Richtung Staustufe, links Donau, rechts Laberableiter*

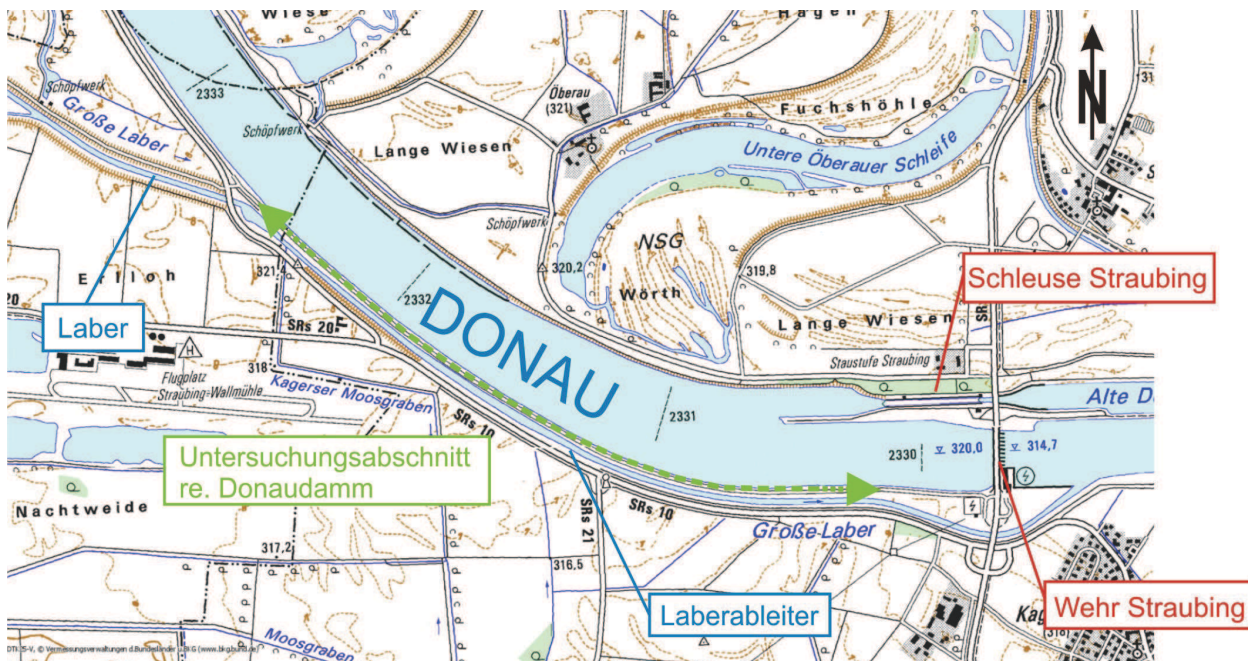


Bild 2: Lageplan

Der Donaudamm ist mit einer Innendichtung in Form einer Schmalwand gedichtet, die i. d. R. in der Dammachse verläuft. Diese wurde nach dem Bau der Dämme und vor der Errichtung des Staus in der Donau eingebaut. Die Schmalwand bindet bis in den Tertiärton (Grundwasserstauer) ein. Die Sohle des Laberableiters ist mit einer 0,5 m mächtigen Auelehmschicht gedichtet (Bild 3).

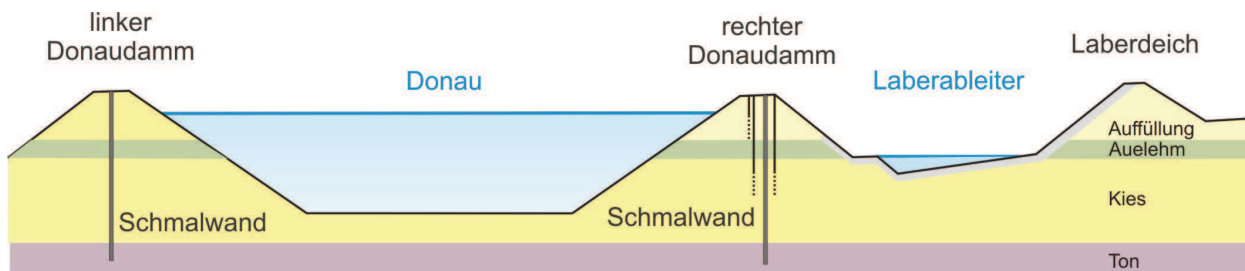


Bild 3: Schematischer Querschnitt durch linken Donaudamm, Donau, rechten Donaudamm, Laberableiter und Laberdeich

Der schematische Querschnitt in Bild 3 zeigt auch den Damm- und Baugrundaufbau im Untersuchungsbereich. Die Dammschüttung besteht überwiegend aus Kies und Sanden. Die quartären Schichten bestehen im oberen Bereich aus Auelehm, der von Kies unterlagert wird. Darunter folgen die tertiären Ablagerungen aus Tonen.

### 3 Grundwasserverhältnisse

#### 3.1 Allgemeines

Die Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsbereich werden durch den vorhandenen Baugrundaufbau, durch die in den Seitendämmen vorhandenen Dichtwände sowie den abflussabhängigen Wasserstand im Unterwasser der Staustufe und den Wasserstand in der Laber beeinflusst. Hinsichtlich der durchströmten Untergrundbereiche ist grundsätzlich zu unterscheiden in einen Bereich innerhalb der Dichtwände und außerhalb der Dichtwände. Innerhalb der Dichtwände entsteht durch die Einbindung der

Dichtwände in den tertiären Ton (Grundwasserstauer) ein an drei Seiten (Dichtwände der Dämmen und Staustufe) und an der Unterseite (Ton) geschlossener Bodenkörper. Von der Staustufe in Richtung Oberstrom sind die Seitendämme auf ihrer gesamten Länge gedichtet. Innerhalb dieses Bodenkörpers ist in die Bereiche oberhalb des Auelehms und unterhalb des Auelehms zu unterscheiden, da die Auelehmschicht aufgrund ihrer geringen Durchlässigkeit als Grundwasserstauer wirkt. Unter der Voraussetzung vollständig intakter Dichtwände stellt sich innerhalb des durch die Dichtwände umschlossenen Bereiches sowohl oberhalb als auch unterhalb des Auelehms ein Grundwasserpotenzial entsprechend dem Wasserstand der Donau ein, da kein Abstrom aus diesem Bereich stattfindet und sich der Baugrund innerhalb dieses Bereiches bis auf Höhe des Wasserstandes vollständig aufgesättigt. Der Grundwasserstand außerhalb der Dichtwände ist - die vollständige Dichtigkeit der Schmalwände in den Dämmen vorausgesetzt - nicht durch eine Infiltration von Donauwasser beeinflusst und die Grundwasserströmung verläuft entsprechend den großräumigen Grundwasserverhältnissen in östliche Richtung. Bei Hochwasser in der Donau steigt der Donauwasserstand im Unterwasser der Staustufe an, wodurch auch der Grundwasserstand im Untersuchungsbereich außerhalb der Dichtwände angehoben wird.

Zur Ermittlung der tatsächlichen Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet wurden Grundwasserstandsmessungen und Bodentemperaturmessungen durchgeführt, die nachfolgend beschrieben werden.

### 3.2 Grundwasserstandsmessungen

Im Untersuchungsbereich sind an insgesamt 7 Querschnitten je 2 bzw. 3 Grundwassermessstellen zur Erkundung der Grundwasserverhältnisse vorhanden. Die in den einzelnen Querschnitten laberseitig der Schmalwand im Donaueisengebiet angeordneten Grundwassermessstellen sind unterhalb der Auelehmschicht verfiltert. Donauseitig der Schmalwand sind in den Querschnitten, in denen eine Auelehmschicht erkundet wurde, jeweils 2 Grundwassermessstellen vorhanden, wovon jeweils eine Messstelle flach verfiltert, d. h. mit der Filterstrecke in der Auffüllung oberhalb der Auelehmschicht, und eine Messstelle tief, d.h. unterhalb der Auelehmschicht, verfiltert ist (Bild 3). In den Querschnitten Q4 und Q8 (km 2331,300 und km 2332,500), in denen keine Auelehmschicht angetroffen wurde, wurde donauseitig der Schmalwand nur eine Messstelle mit einer tief liegenden Filterstrecke errichtet. Außerdem wurden in zwei Querschnitten Druckaufnehmer zur Messung des Laberwasserstandes an der Sohle des Laberableiters eingebaut.

Von November 2009 bis Juli 2010 wurden im Rahmen von zwei Messkampagnen in den Grundwassermessstellen die Wasserstände mit Hilfe von Druckaufnehmern erfasst. Anhand der Messungen sollte einerseits die Dynamik der Grundwasserstandsänderungen in Bezug auf die Änderungen des Wasserstandes im Laberableiter ermittelt werden um so für die instationären Durchströmungsberechnungen realitätsnahe Ansätze zu erhalten. Die Messungen sollten außerdem dahingehend ausgewertet werden, inwieweit die Wand hydraulisch belastet und als Dichtungselement wirksam ist.

Zur Veranschaulichung der Durchströmungsverhältnisse im Bereich der untersuchten Dammstrecke sind die Grundwasserstände in Form eines Längsschnittes dargestellt (Bild 4). Die luftseitig der Schmalwand gemessenen Grundwasserstände zeigen eine Grundwasserströmung in Richtung Unterwasser und entsprechen in etwa dem Wasserstand im Laberableiter. Sie sind der Übersichtlichkeit wegen im Längsschnitt nicht dargestellt.

Der gesamte Untersuchungsbereich kann aufgrund der Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen in 4 Abschnitte unterteilt werden.

- Abschnitt 1: Messquerschnitte Q1, Q2 und Q3

In den donauseitig der Schmalwand angeordneten Grundwassermessstellen entspricht das Grundwasserpotenzial in beiden Messstellen (Filterstrecke ober- und unterhalb der Auelehmschicht) dem Wasserstand in der Donau. Die Potenzialdifferenz zwischen dem donauseitigen und dem laberseitigen Grundwasserstand an der Dichtwandwand beträgt in Abhängigkeit vom Grundwasserstand laberseitig der Dichtwand ca. 3,5 m bis 5 m. Ein Grundwasserfluss aus dem durch die Dichtwände umschlossenen Bereich ist auf Grundlage der Grundwasserstandsmessungen nicht erkennbar.

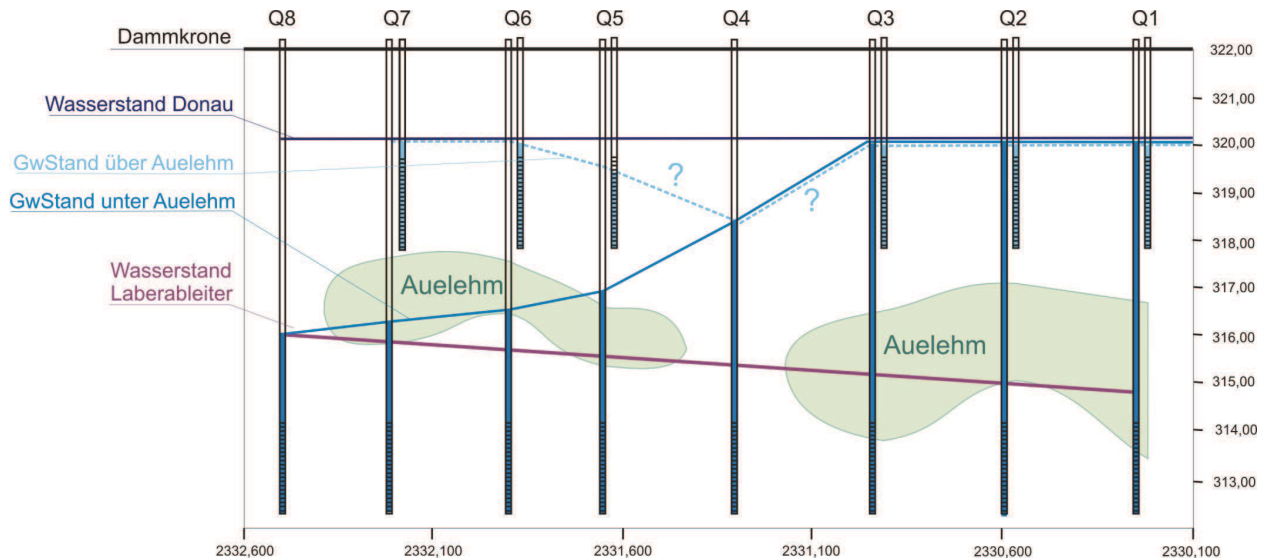


Bild 4: Längsschnitt durch den rechten Donaudamm mit Messquerschnitten und GwWasserständen

- Abschnitt 2: Messquerschnitt Q4

In diesem Messquerschnitt wurde keine Auelehmschicht erkundet und es wurde deshalb nur eine tiefe Messstelle donauseitig der Dichtwand erstellt. Der in dieser Messstelle ermittelte Grundwasserstand liegt deutlich (ca. 1,5 bis 1,7 m) unterhalb des Donauwasserstandes. Aufgrund der fehlenden Auelehmschicht ist davon auszugehen, dass sich das Grundwasserpotenzial im oberen Bereich des Grundwasserleiters zwischen den Dichtwänden nur relativ wenig von dem im tieferen Bereich gemessenen unterscheidet und dass ein Zustrom von Grundwasser aus dem Bereich oberhalb der Auelehmschicht in den Bereich unterhalb der Auelehmschicht, in dem das Grundwasserpotenzial nach Oberstrom abfällt, stattfindet.

- Abschnitt 3: Messquerschnitte Q5, Q6, Q7

In den donauseitig der Schmalwand angeordneten tiefen Messstellen fällt der gemessene Grundwasserstand von Messquerschnitt Q4 in Richtung Oberstrom kontinuierlich ab. Aus den Grundwasserstandsmessungen in den flachen Messstellen ist dagegen ein Gefälle in Richtung Unterstrom bis zum Messquerschnitt Q4 erkennbar. Hier ist ebenfalls anzunehmen, dass das Grundwasser zwischen den Dichtwänden aus dem Bereich oberhalb der Auelehmschicht in den Bereich unterhalb durch die Fehlstelle in der Auelehmschicht bei Messquerschnitt Q4 abströmt. Aufgrund des nach Oberstrom abfallenden Grundwasserpotenzials unterhalb der Auelehmschicht ist von einem Abfluss von Grundwasser aus dem von den Dichtwänden umschlossenen Bereich Oberstrom dieses Abschnitts auszugehen. Eine signifikante Beeinflussung durch einen möglichen Zustrom von Grundwasser aus dem Bereich zwischen den Dichtwänden ist nicht erkennbar. Aufgrund des nach Oberstrom abnehmenden Grundwasserpotenzials unterhalb der Auelehmschicht reduziert sich die Potenzialdifferenz an der Dichtwand in Richtung Messquerschnitt Q7 auf wenige Dezimeter.

- Abschnitt 4: Messquerschnitt Q8

Im Bereich des Messquerschnitts Q8 ist keine signifikante Differenz zwischen dem Grundwasserpotenzial unterhalb der Auelehmschicht donauseitig der Dichtwand und dem laberseitigen Grundwasserpotenzial erkennbar. Es kann jedoch nicht beurteilt werden, ob ein Potenzialunterschied bzw. mit welcher Differenz im Bereich weiter in Richtung Oberstrom vorhanden ist.

Die durchgeführten Grundwasserstandsmessungen zeigen deutlich, dass ab dem Messquerschnitt Q4 unterhalb der Auelehmschicht im Bereich zwischen den Dichtwänden eine Grundwasserströmung nach Oberstrom stattfindet. Da der Grundwasserleiter im gesamten Stauhaltungsbereich durch die Schmal-

wände in den seitlichen Dämmen abgedichtet ist, muss die vorhandene Grundwasserströmung durch einen Abstrom aus diesem Bodenkörper nach außen erfolgen.

### 3.3 Bodentemperaturmessungen

Die Untersuchung fand in zwei Messkampagnen statt. Die erste Kampagne erfolgte vom 24.08. bis 03.09. 2010. In der zweiten Kampagne, die vom 29.09. bis 01.10. 2010 erfolgte, wurde eine Verdichtung des Messrasters zwischen Donau-km 2331,600 und 2332,600 durchgeführt. Des Weiteren wurden Messungen (20.09.-01.10.10) am linken Donauufer zwischen Donau-km 2332,700 und 2332,800 durchgeführt, die hier nur zum Vergleich präsentiert werden. Die Messungen wurden vom mit dem von der Firma GTC entwickelten Bodentemperaturmessverfahren durchgeführt. Die Messungen der Bodentemperaturen eignen sich zur räumlichen Eingrenzung von Sickerwasserfließbewegungen im Dammkörper und unterhalb seiner Aufstandsfläche.

Ziel der Untersuchung war die Erkundung von eventuellen Sickerwasseraustritten und gegebenenfalls deren Lokalisierung.

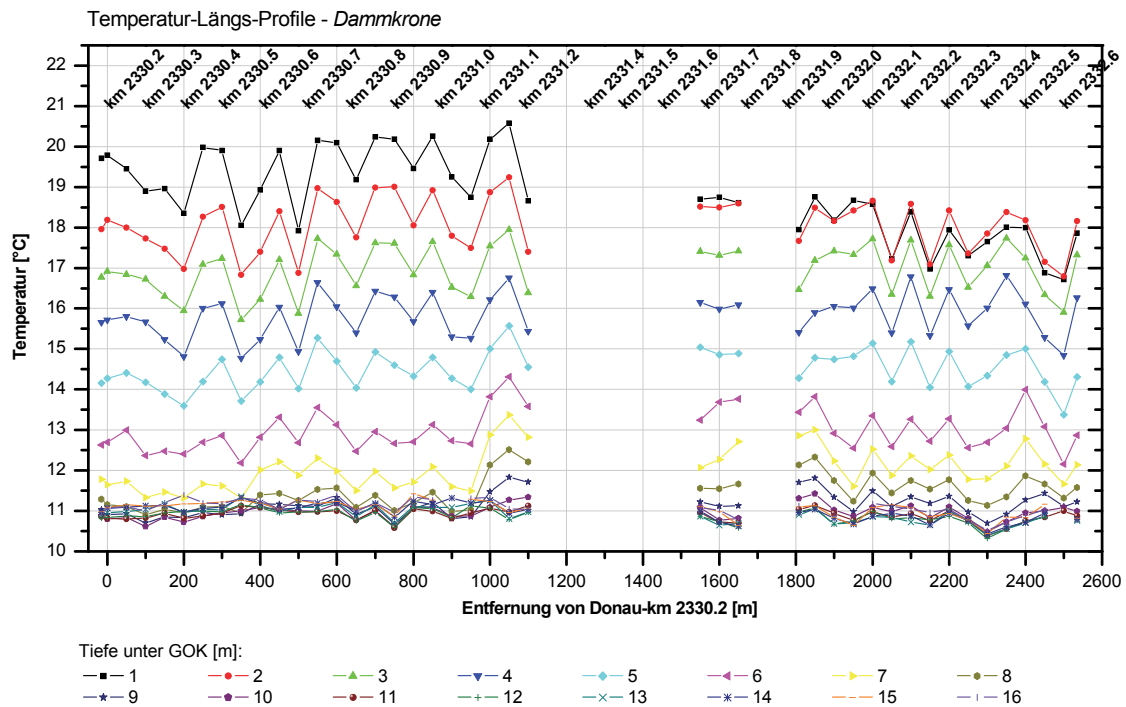


Bild 4: Einbau der Sondiergestänge



Bild 5: Temperaturmesskette mit Messgerät

Hierzu wurden am rechten Donauufer/-damm auf der luftseitigen Böschung der Dammkrone Sondierungen in Abständen von 50 m abgeteuft (Bild 4). Während des zweiten Messeinsatzes wurde das Raster so verdichtet, so dass ab Donau-km 2331,6 insgesamt alle 25 m eine Messung stattfand. Die Sondierungen erfolgten in der Regel jeweils bis in eine Teufe von 16 m unter Dammkrone. In Bereichen, in denen aufgrund eines zu hohen Rammwiderstandes keine Sondierungen auf die gewünschte Endtiefe abgeteuft werden konnten, wurde alternativ auf der Berme (linkes Laberufer) sondiert. Die Teufe der Sondierungen am Laberufer betrug 10 m bzw. 11 m. In den einzelnen Messgestängen wurden die Bodentemperaturen in Tiefenintervallen von 1 m aufgenommen. Der Abstand der Sondierungen auf dem linken Donaudamm, die 18 m tief waren, betrug 20 m.



**Bild 6:** Temperatur-Längs-Profil der ersten Messkampagne vom 24.08. bis 03.09. 2010, Messungen von der Krone aus.

Die Auswertung der Messergebnisse des rechten Ufers (Messungen von der Krone) sind in Bild 6 dargestellt. Sie zeigen zwei kleine Temperaturanomalien (bei ca. 1475 m und ca. 1925 m Entfernung stromaufwärts von Donau-km 2330,200, die auf geringfügige Durchsickerungen im Untersuchungsbereich bzw. im Einflussbereich der Messsonden hinweisen (Bild 7). Die Messungen von der Berme aus, die in den Messlücken der Kronenmessung durchgeführt wurden, sind hier nicht dargestellt. Eine systematische, verstärkte Durchströmung oder Unterströmung der Schmalwand ist jedoch auszuschließen.

Am linken Ufer zeigen die Messergebnisse zum Vergleich eine starke Anomalie in der Mitte der Untersuchungsstrecke (46 m stromaufwärts von Donau-km 2332,700), die auf eine signifikante Durchströmung des Injektionsschleiers (Injektion zum Schließen eines planmäßigen „Fensters“ in der Schmalwand) hinweist (Bild 8).

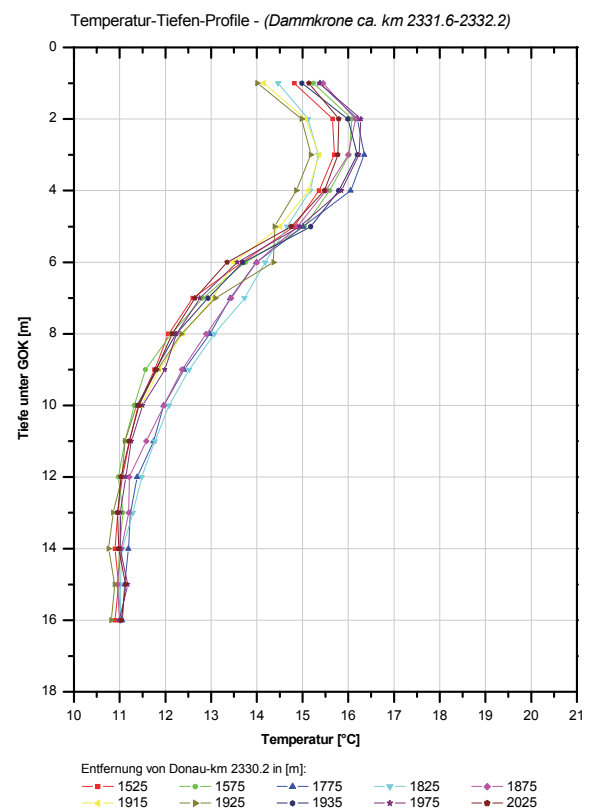
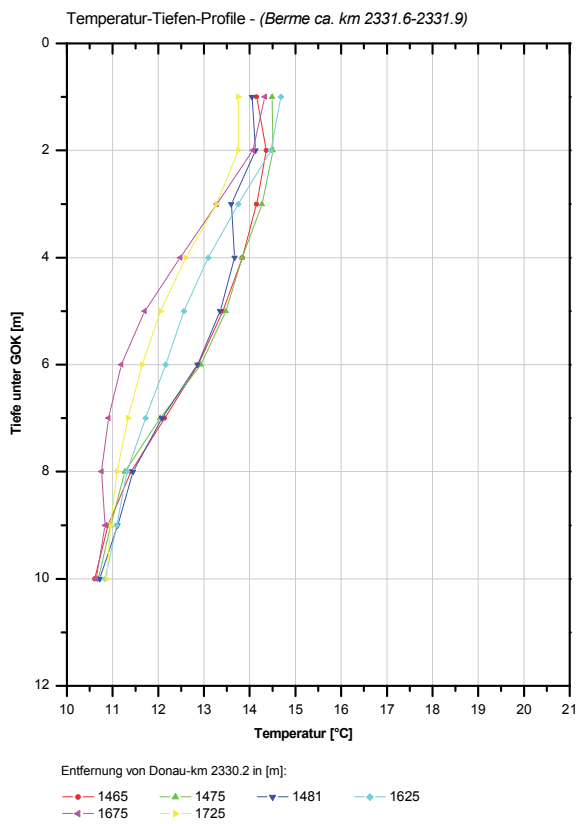


Bild 7: Ausgesuchte Temperatur-Tiefen-Profile der zweiten Messkampagne vom 29.09. bis 01.10.2010



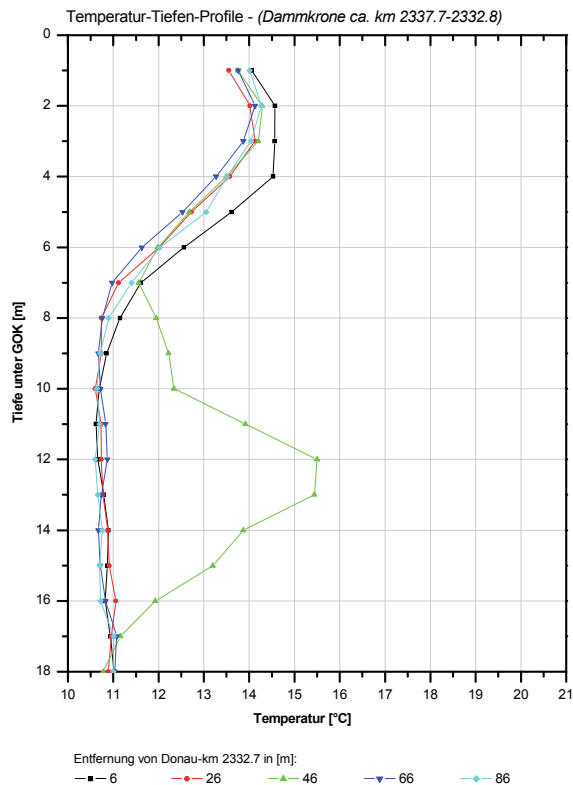


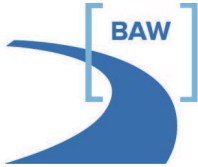
Bild 8: Temperatur-Tiefen-Profile am linken Donaudamm mit Temperaturanomalie bei Sondierung „46 m“ zwischen 12 und 13 m unter GOK.

### 3.4 Ansatz der hydraulischen Wirkung der Schmalwand in der außergewöhnlichen Bemessungssituation

Die durchgeführten Grundwasserstands- und Bodentemperaturmessungen zeigen, dass die als Dichtungselement im rechten Donaudamm der Stauhaltung Straubing eingebaute Schmalwand im Bereich des am Dammfuß verlaufenden Laberableiters ihre Funktion bisher größtenteils erfüllt. Ungeklärt ist bisher die genaue Ursache des nach Oberstrom abfallenden Grundwasserpotenzials unterhalb der Auelehmschicht in dem durch die Schmalwände beidseitig begrenzten Bereich, bzw. die Lage des hierzu erforderlichen Grundwasserabflusses aus diesem Bereich. Dadurch können zumindest bereichsweise keine genauen Aussagen zur Dichtigkeit der Schmalwand getroffen werden.

Der hier untersuchte Donaudamm ist durch die besonderen Randbedingungen mit dem am Dammfuß verlaufenden Laberableiter, insbesondere bei Hochwasser in der Lauer, einer erhöhten hydraulischen Beanspruchung ausgesetzt. Dabei ist die Beobachtbarkeit des durch das Lauerhochwasser beanspruchten Donaudammes eingeschränkt und es bestehen keine geeigneten Möglichkeiten für die Durchführung geeigneter Sofortmaßnahmen zur Herstellung der Dammstandsicherheit bei erhöhter Dammdurchströmung.

Insgesamt kann die Dichtwirkung der bestehenden Schmalwand größtenteils jedoch nicht vollständig nachgewiesen werden. Aufgrund der geringen Dicke und der geringen Widerstandsfähigkeit der Schmalwand ist keine erhöhte Systemdichtigkeit des Dichtungselementes vorhanden. Durch die besonderen Randbedingungen mit dem hochwasserbelasteten Laberableiter unmittelbar am Dammfuß liegt eine erhöhte Beanspruchung des Dammes vor. Aus diesen Gründen wird empfohlen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation ein hydraulisches Versagen der Schmalwand zu berücksichtigen und die Dammstandsicherheit unter Berücksichtigung der sich daraus ergebenden Strömungskräfte nachzuweisen. Um diesen Nachweis zu erbringen sind Sanierungsmaßnahmen erforderlich.



## Literatur

- Armbruster H., Dornstädter J., Kappelmeyer O., Tröger I. (1992): Detection of seepage and flow phenomena by temperature measurements in soil. *Tracer Hydrology - Proc. of the 6th Int. Symp. on Water Tracing*. Eds.: H. Hötzl & A. Werner, Balkema Verlag, Rotterdam.
- Armbruster H., Dornstädter J., Kappelmeyer O., Tröger I. (1993): Thermometrie zur Erfassung von Schwachstellen an Dämmen. Vol. 83 (4), *Wasserwirtschaft*, Franck-Kosmos-Verlag, Stuttgart.
- Dornstädter J. (1991): Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung thermischer Parameter. Patentschrift DE 4127646, Deutsches Patentamt, München.
- Dornstädter J. (1992): Nachweis von Sickerströmungen mittels Bodentemperaturmessungen. Vol. 143: p 421-425. *Z. dt. geol. Ges. Hannover*.
- Dornstädter J. (1996): Sensitive Monitoring of Embankment Dams. *Proceedings from Repair and Upgrading of Dams*, Stockholm 1996.
- Dornstädter J. (1997): Detection of Internal Erosion of Embankment Dams. Q.73, R.7, *ICOLD 19th Congress in Florence*, 1997.
- Kappelmeyer O. (1957): The use of near surface temperature measurements for discovering anomalies due to causes at depth. Vol. 3: p239-258, *Geophysical Prospecting*, The Hague.