

13. Talsperrensymposium, Weimar 2004 - Talsperren im 21. Jahrhundert

3. Themenschwerpunkt- Technische Innovationen, Überwachung

Geotechnische Langzeitmessungen und -auswertungen an einem Schüttdamm mit Asphaltinnendichtung

**von Fritz Neuschitzer, Klagenfurt und Rainer Glözl,
Rheinstetten**

Kurzfassung: 1988 errichtete die KELAG – Kärntner Elektrizitäts- Aktiengesellschaft- in drei Jahren Bauzeit im Süden Österreichs an der Grenze zu Slowenien einen 85 m hohen Felsbrockenschüttdamm. Der dadurch geschaffene See bildet mit einem Speichervolumen von über 20 Millionen m³ Inhalt das Kernstück der 50 MW Kraftwerksanlage Koralpe.

Die Qualität auf dem Gebiet der Talsperrenüberwachung ist in den letzten Jahren sowohl bei der Messwerterfassung, als auch der Übertragungstechnik und vor allem bei der Datenauswertung durch den Computereinsatz enorm gesteigert worden. Seit der Errichtung des Feistritzbachdammes werden regelmäßig Spannungen mittels 63 Erddruckgebern luftseitig der Asphaltinnendichtung gemessen. Sie dienen zur Ergänzung der Interpretation der bisher festgestellten Verformungen des Dammes, die durch Messeinrichtungen, wie Inklinometer, Setzungspegel und Oberflächenmesspunkte beobachtet werden.

1 Allgemeines

1.1 Die Sperre Feistritzbach

Im Südwesten Kärntens wurde nach mehr als zwanzig Jahren der Projektierung und Detailplanung 1988 bis 1991 an der Grenze zu Slowenien von der Kärntner Elektrizitäts-AG (KELAG) Österreichs zweithöchster Felsbrockenschüttdamm mit Asphaltinnendichtung errichtet. Durch den 85 m hohen Damm wird in einem Landschaftsschutzgebiet auf 1000 m Seehöhe der Feistritzbach, ein Gebirgsbach, der südlich der Koralpe in die Drau fließt, 80 m aufgestaut. Das Schüttmaterial wurde aus dem Stauraum steinbruchmäßig gewonnen, lagenweise eingebaut und mit schweren Walzen dynamisch verdichtet. Anhand der Auswertergebnisse von Versuchsschüttungen und Materialuntersuchungen aus dem Probesteinbruch wurden nähere Spezifikationen für die Errichtung des Dammes festgelegt. Über eine mögliche Aufweitung der Asphaltinnendichtung infolge der Setzung der Dammschüttung und der damit befürchteten Verbreiterung der Asphaltendichtung sowie eines möglichen Aufhängeeffektes der Dichtmembran in der Schüttung wurde aufgrund von Messergebnissen bei gleichartigen Dämmen Anfang der 80er Jahre intensiv diskutiert.

Dies war für die Mitglieder der Österreichischen Staubeckenkommission Anlass schon in der Projektierungsphase für den Feistritzbachdamm ein umfangreiches Messsystem zur Kontrolle der Beanspruchung der Asphaltinnendichtung zu fordern. Es sind daher in Abständen von 20 m von der Sohle bis zur Dammkrone in drei Messquerschnitten mehrfach unmittelbar an der Luftseite der Asphaltinnendichtung Druckgeber angeordnet worden. Nach über 14 Betriebsjahren lassen sich mehr als 90 % der Geber noch einwandfrei messen. Bei der Projektierung und Ausführung des Dammes wurde die zwanzigjährige Erfahrung des bisherigen Sperrbaues genutzt. Als Berater stand Prof. Breth zur Seite, der die Technologie des Asphaltichtungselementes im Inneren des Dammes vor über 40 Jahren in Europa eingeführt und erfolgreich umgesetzt hat. Die vertikale Asphaltinnendichtung wurde im oberen Viertel des Feistritzbachdammes 1:4 zur Luftseite geneigt ausgeführt, damit die nötige Einspannung des Asphaltes sicher gegeben ist. Ein umfangreiches Drainagesystem, eine Reihe von Piezometern zur Kontrolle des Dichtschirmes, sowie die Messung der Verformungen sowohl im Inneren wie auch an der Oberfläche des Dammes tragen wesentlich zur Funktionsüberwachung des Dammes bei. Es sind bisher keine außergewöhnlichen Erscheinungen aufgetreten.

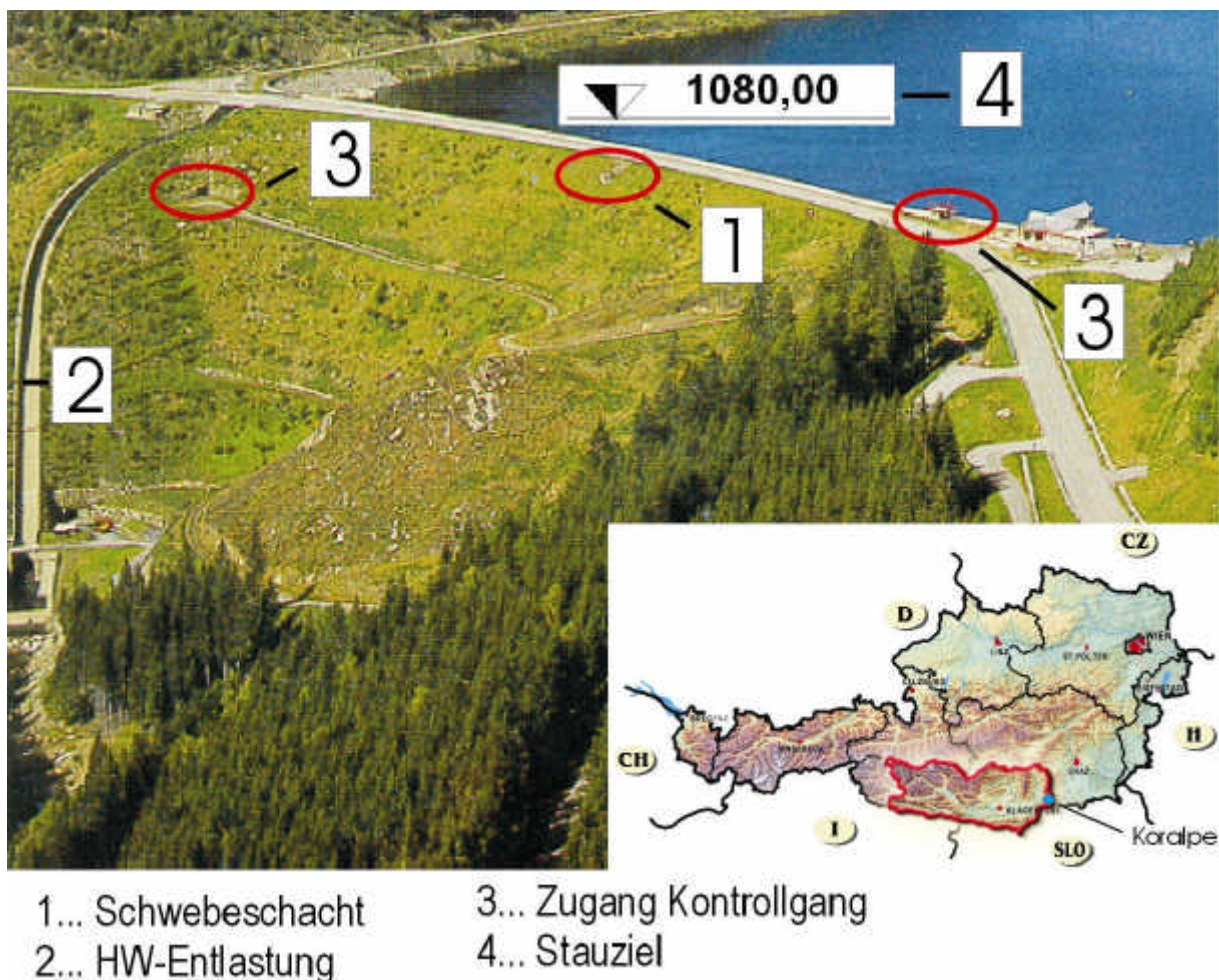


Abb 1 Luftseite der Sperre Feistritzbach

1.2. Die Ausführung der Asphaltinnendichtung

Die Kelag hatte bis zum damaligen Zeitpunkt zehn Dämme ihrer Kraftwerksanlagen mit Asphaltüberflächendichtungen ausgestattet, weshalb sehr viel Erfahrung mit dem Medium Asphalt im eigenen Hause gegeben war. Schüttmaterialuntersuchungen in einem Probesteinbruch sowie FE-Berechnungsergebnisse waren entscheidend, dass beim Feistrizbachdamm eine vertikal in Dammmitte angeordnete Asphaltinnendichtung zur Ausführung kam. Mineralische Zuschlagsstoffe bilden die Hauptkomponente des Asphaltmischgutes und bestimmen damit maßgeblich das mechanische Verhalten der Asphaltinnendichtung. Um ein wasserdichtes Mischgut mit weniger als 3% Hohlraumgehalt zu erhalten, bedarf es einer genauen Abstimmung zwischen Zuschlagsstoffen, Mastix und Bitumen. Die angestrebte dichte Lagerung wird durch eine an die Fullerparabel angenäherte Kornabstufung erzielt. Aus den Laborversuchen ergab sich ein optimales Mischgut mit Zuschlagstoffen aus der Kiesgrube Rudolf bei Lavamünd, 20 % Füllermehl, das teilweise beim Trocknen der Zuschlagsstoffe zurück gewonnen werden konnte, sowie 6,5 % Bitumen. Die Überprüfung der nach den Österreichischen Richtlinien für Asphaltwasserbau geforderten Bitumenqualität erfolgte teilweise im Baustellenlabor sowie an unabhängigen Prüfanstalten der Technischen Universitäten. Der für die Hohlräume (ca. 12 bis 18 Vol.-%) erforderliche Bitumengehalt wird durch die Zugabe von Füller - Gesteinsmehl kleiner 0,09 mm - auf ca. 6 - 7 % reduziert. Der Asphaltbeton ist ein Dreiphasensystem, bestehend aus dem Mineralgerüst als feste Phase, der Mörtelmatrix aus Füller und Bitumen als „flüssige“ Phase“ sowie der in den Poren eingeschlossenen Luft, die die gasförmige Phase bildet. Diese drei Komponenten verhalten sich mechanisch sehr unterschiedlich, woraus eine hohe Empfindlichkeit der technischen Eigenschaften des Asphaltes abhängig von den jeweiligen Anteilen dieser Komponenten folgt. Dies bedeutet einerseits eine wünschenswerte Anpassungsfähigkeit der Asphaltbetoneigenschaften an den jeweiligen Belastungszustand, verlangt aber andererseits eine feine und exakte Dosierung des Bitumenanteils zur Erreichung eines bestimmten Elastizitätsmoduls. Den Übergang zwischen Asphaltichtung und Untergrund bildet der Kontrollgang. Der Anschluss der Asphaltinnendichtung an den Kontrollgang erfordert eine Vorbehandlung der muldenförmigen Aufstandsfläche. Eine ein Zentimeter starke Mastixschicht ermöglicht es, dass sich das gröbere Asphaltmischgut der Innendichtung eindrücken kann und damit den lückenlosen Kontakt mit der glatten Betonaufstandsfläche sicherstellt. Am Dichtungsfuß auf Kote 1000 müA sind zwei Lagen Dichtasphalt 140 cm breit manuell eingebaut worden. Dadurch wird ein möglicher Sickerwasserweg entlang der Kontaktfuge verlängert. Eine Vliesverlegung zur Schüttung hin sichert das Mastix gegen Auspressen. Ebenso ist die Asphaltichtung zu den Flanken hin verbreitert ausgeführt und auch bei aufgehenden Anschlüssen an Betonbauwerken, wie Einstiegsschacht und Hochwasserentlastungsgerinne. Die maschinell eingebaute Dichtung variiert zwischen 70 und 50 cm. Sie verjüngt sich bei Höhe 1020 m von 70 auf 60 cm und bei 1040 auf 50 cm.

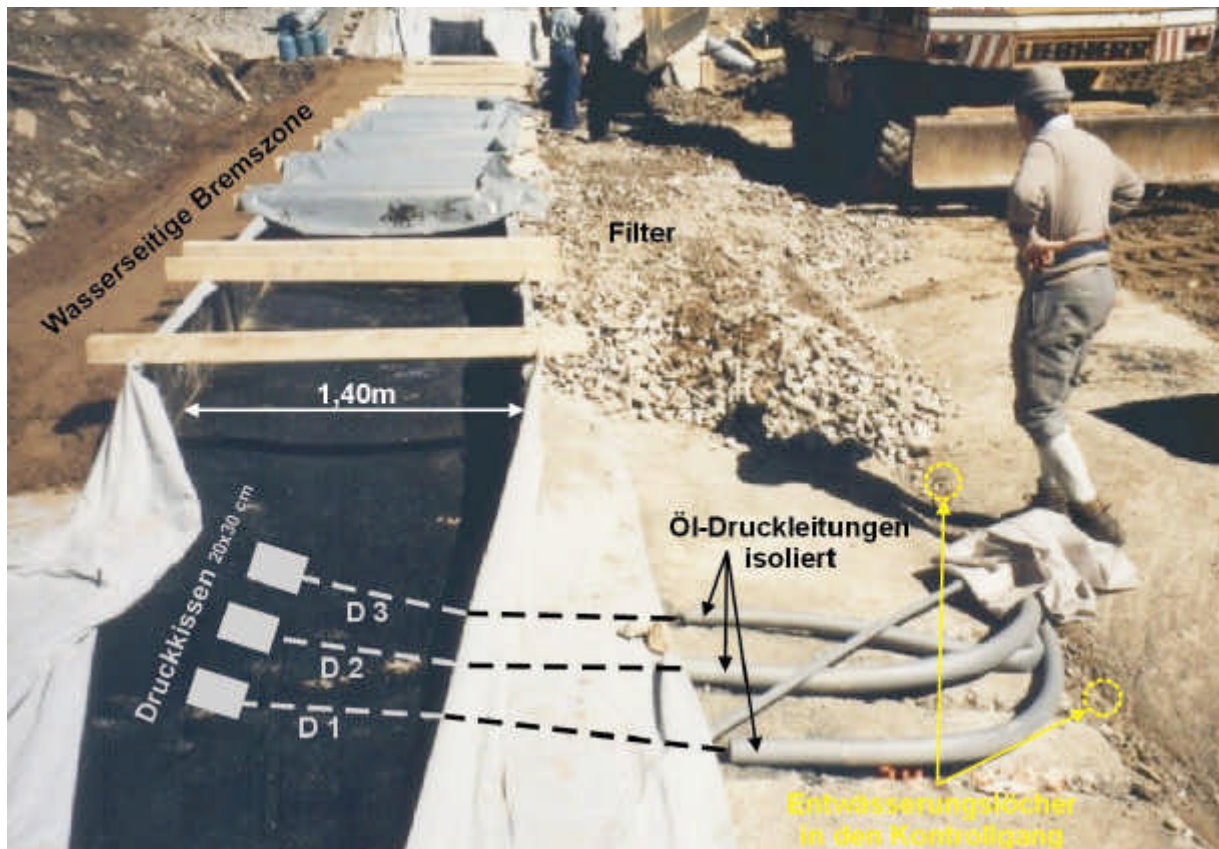


Abb 2 Einbringen des Asphalt in der Aufstandsfläche am Kontrollgang

Mit einem modernisierten Einbaufertiger der dritten Generation war es möglich, unterschiedliche Umgebungsmaterialien zugleich mit dem Asphaltmischgut in 20 cm Lagen einzubauen. Am Ende des Fertigers übernahmen drei Rüttelplatten, von denen die mittlere beheizt war, die gleichzeitige Verdichtung von Asphaltmischgut und Übergangszonen. Die unmittelbar aufeinander folgenden Arbeitsschritte ließen den Asphalt nur wenig abkühlen und ermöglichten so eine intensive Verzahnung mit den Übergangszonen, wie beim Freilegen der vertikalen Dichtungsflächen im Zuge des Gebereinbaues festgestellt werden konnte.

2 Die Erddruckgeber

2.1 Das Messprinzip und die Anordnung der Geber im Damm

Der Erddruckgeber besteht aus einem flachen Druckkissen und einem damit verbundenen Ventilgehäuse, in welchem eine Membran eingespannt ist, die das mit Öl gefüllte System abschließt. Während des Messvorganges wird durch einen Schlauch Flüssigkeit gegen die Außenseite der Membran gepumpt. Übersteigt dieser Flüssigkeitsdruck nur geringfügig den im Geber herrschenden und auf die Membran wirkenden Innendruck, so wird diese durchgebogen und mit dem Ölrückfluss kann der Druck nicht mehr weiter als auf den im Geber vorhandenen gesteigert werden. Der

Strömungsverlust ist sehr gering und liegt bei ca. 0,5 N/cm² pro 100 m Leitungslänge. Das Kompensationsventil hat in seiner empfindlichsten Ausführung eine Regelgenauigkeit von $\pm 0,01$ N/cm². Ein wesentlicher Vorteil der Erddruckgeber ist die Robustheit und Unempfindlichkeit gegen äußere Einflüsse [4]. Der hydrostatische Druck bei verschiedenen hoch situierten Gebern, die werksseitig vorgenommene Membranspannung sowie die Reibungsverluste durch die Länge der Pumpleitungen bleiben für die einzelnen Geber über Jahre konstant. Diese Konstanten werden vom gemessenen Druck subtrahiert um die vorhandene Spannung zu erhalten. Somit können Messungen auch Jahre nach der Inbetriebnahme exakt durchgeführt werden ohne eine große Streuung befürchten zu müssen.

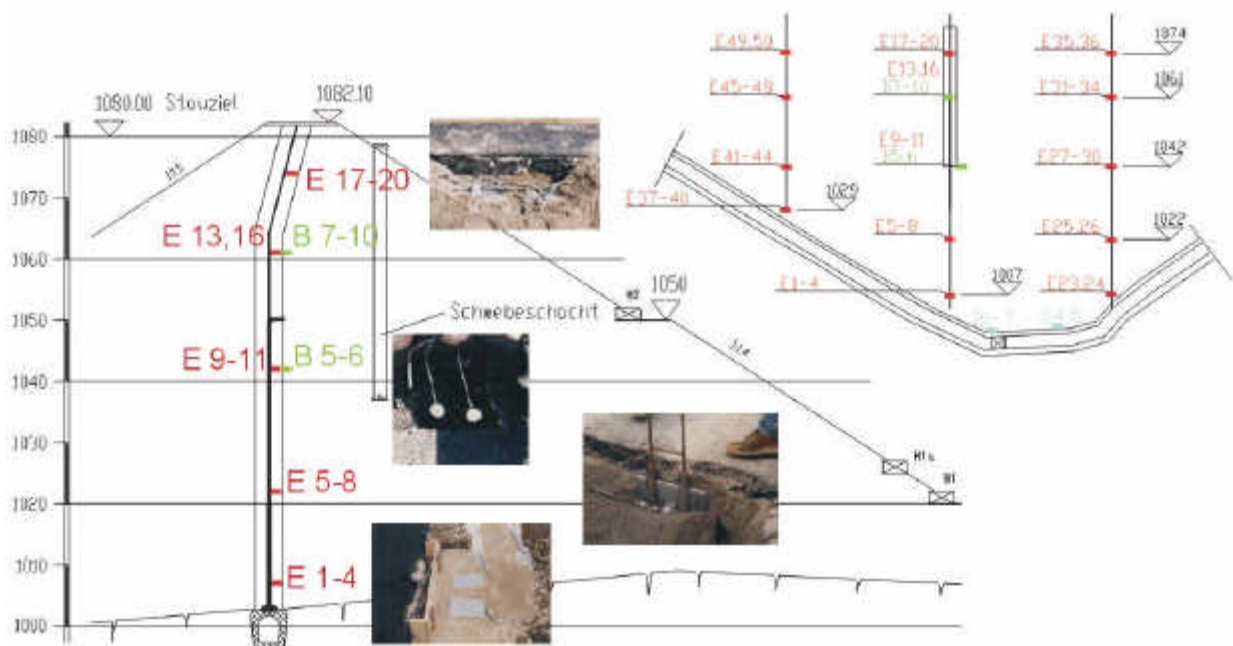


Abb 3 Anordnung der Erd- und Asphalt-druckgeber, Schnitt durch Dammachse

Die Anordnung der Geber erfolgte bei der Sperre Feistritzbach nur zur Messung der Vertikal- und Horizontalspannungen. Auf den Einbau einer sogenannten Geberrosette wurde verzichtet, da eine solche Mehrfachanordnung nur in feinkörnigen Zonen, wo keine besondere Geberumgebung erforderlich ist, plausible Ergebnisse liefert. Die Druckkissen wurden in unmittelbarer Nähe der Asphaltinnendichtung in einem mit Vlies umhüllten Sandbett eingebaut. Für die horizontale und vertikale Spannungsrichtung wurde mittels Lehren eine optimale Geberbettung geschaffen. Der mehrfache Einbau von Erddruckgebern in einem Horizont an der Luftseite des Dammes sichert die Messergebnisse ab. Neben den Druckkissen in der Aufstandsfläche der Asphaltinnendichtung, wurden mehrere hitzebeständige Modellgeber direkt im Asphaltmischgut im Horizont 1042,0 müA sowie 1061,0 müA eingebaut. In der Diskussion um die Anordnung und die Art des Einbaues der Geber galt es Möglichkeiten zu finden, um den Unterschied zwischen der totalen und der effektiven Spannung in der Asphalt-dichtung zu messen. Diesen Überlegungen wurde versucht insofern Rechnung zu tragen, dass die Geber B 9 und B 10 nicht direkt im Asphaltmischgut eingebaut,

sondern in Sand eingebettet wurden. Leider liefern sie keine plausiblen Messergebnisse, da die Geber im Übergang zur Filterschichtesituiert wurden. Der Geber B8 liegt zur Messung der Vertikalspannung direkt ca. mittig in der Asphaltabdichtung. Der Geber B7 dient zur Messung der Horizontalspannung in der Asphaltabdichtung und zeigt eine deutliche Stauabhängigkeit. Wenn auch die Bettungsbedingungen der Geber nicht überprüft werden können, so zeigen sich jetzt aufgrund des sich ändernden Belastungszustandes infolge Auf- und Abbaus eindeutige Reaktionen, die sich zyklisch wiederholen.

2.2 Auswertung der Erddruckmessungen

Die automatische Messanlage MFA 6 E in der Messkammer der Sperre steuert die hydraulischen Umschaltgruppen für die Einzelmessung der Druckgeber und ein Messdurchgang von über 60 Messstellen wird bei Kontrollgängen des Aufsichtspersonals manuell gestartet. Derzeit werden die Messergebnisse in der Messanlage vor Ort gespeichert und regelmäßig mittels Laptop ausgelesen und ausgewertet. Im Jänner 2004 wurden alle 63 Messstellen, die noch im Messprogramm enthalten sind, überprüft und folgende Charakteristika festgestellt:

- Ausschlag beim Pumpstoß

- Druckdifferenz zwischen Öffnungsdruck und dem Schließpunkt der Membran (Reibungsverlust)

- Dichtigkeit der Membran

- Absinken des Druckes

- Art des Pumpvorganges.

Es zeigte sich, dass nur bei zwei Gebern das Schließventil nicht mehr exakt funktioniert und damit der eigentliche Messwert etwas verfälscht ist. Von 68 Gebern sind in der Dammschüttung seit dem Einbau nur fünf Stück ausgefallen. Dies gleich bei Messbeginn, weshalb aufgrund von über 300 m Leitungslänge Leckstellen bei den Rohrstoßen vermutet wurden. Auch die Druckgeber, die direkt in das 180 ° heiße Asphaltmischgut eingebaut wurden, liefern noch immer Werte, die auch mit den Stauspiegelschwankungen korrelieren. Bei den Glözl-Ventilgebern wird der auf den in der Schüttung oder in der Asphaltinnendichtung situierten Geber wirkende Druck hydraulisch kompensiert, sodass die Belastungsänderung direkt als Spannungsänderung an einem Manometer abgelesen werden kann. Mit einer genauen Analyse der Messvorgänge jedes einzelnen Gebers wurde die Plausibilität der Messergebnisse gemeinsam mit dem Hersteller nach 14 Betriebsjahren grundsätzlich überprüft. Diese Art der Messgeber ist seit mehr als 40 Jahren im Talsperrenbau im Einsatz und bei anderen Dämmen, wie dem Gepatschdamm in Tirol, noch in Funktion. Dort konnten Ende der 90er Jahre einige der fast 40 Jahre alten Geber ausgebaut und untersucht werden. So war es möglich die Alterungserscheinungen der Geber genauer zu untersuchen. Die Messung des 0-Punktes – also ohne Belastung – ergab eine erfreuliche Übereinstimmung mit dem 0-Punkt beim Einbau. Die Ventile wurden geöffnet, O-Ringe, Membran und Ventilscheiben begutachtet und selbst bei der Hostafan-Membran wurden keine Alterungsbrüche oder ähnliche Anzeichen festgestellt. Das Hydrauliköl zeigte ebenfalls keinerlei Amalgamierungseffekte. In der These von Hrn. Prager, Grenoble, wird dieses Stabilitätsproblem schon 1974 beschrieben. Zu

diesem Punkt bemerkt Dr. Prager „keine Änderung der 0-Punkte außer einer möglichen chemischen Reaktion durch Alterung des Hydrauliköls“.

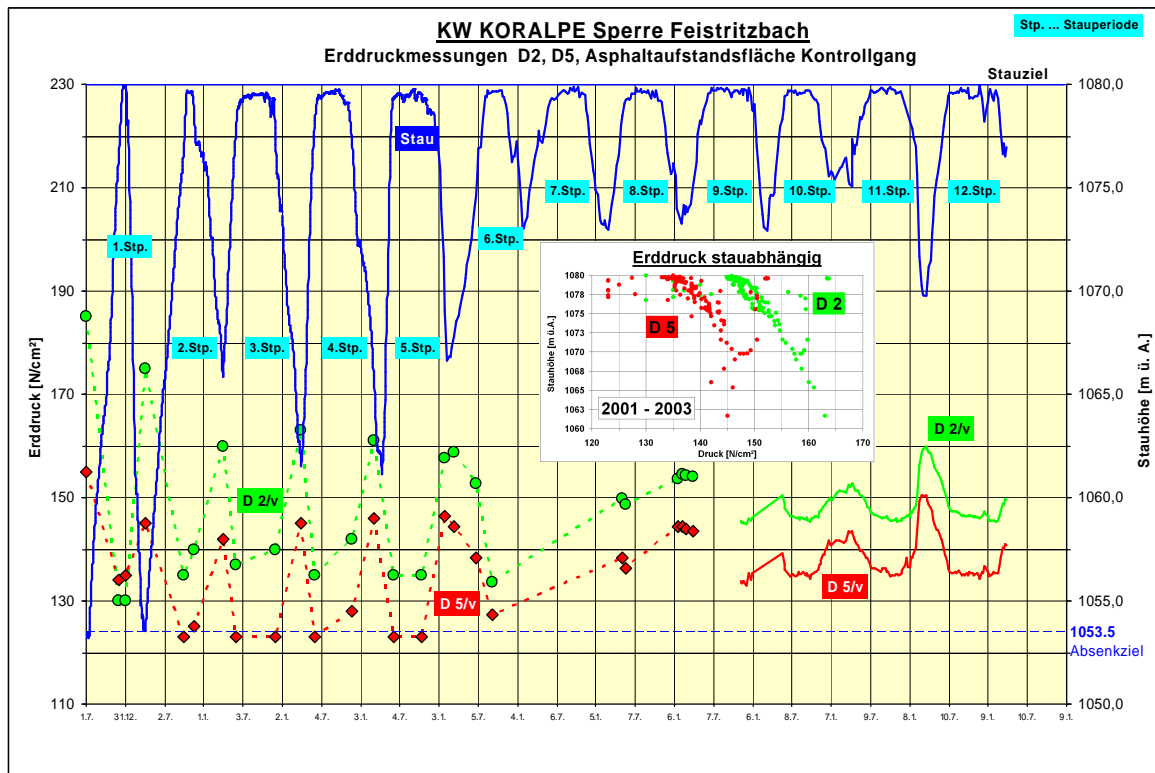


Abb 4 Messergebnisse Druckgeber Kontrollgang während 14 Betriebsjahren

Die Messresultate der fünf Druckkissen im Feistritzbachdamm, die direkt in der Kontaktfuge zwischen Asphaltinnendichtung und Kontrollgang im Tiefpunkt angeordnet sind, werden derzeit ausgewertet. Die Ursachen für die Spannungumlagerungen werden weiter untersucht werden. Der stauabhängige Anstieg des Druckes am Sperrenfuß könnte mit der Aktivierung der Reibung zwischen Umgebungsmaterial und Asphaltinnendichtung zufolge des Abstaues erklärt werden.

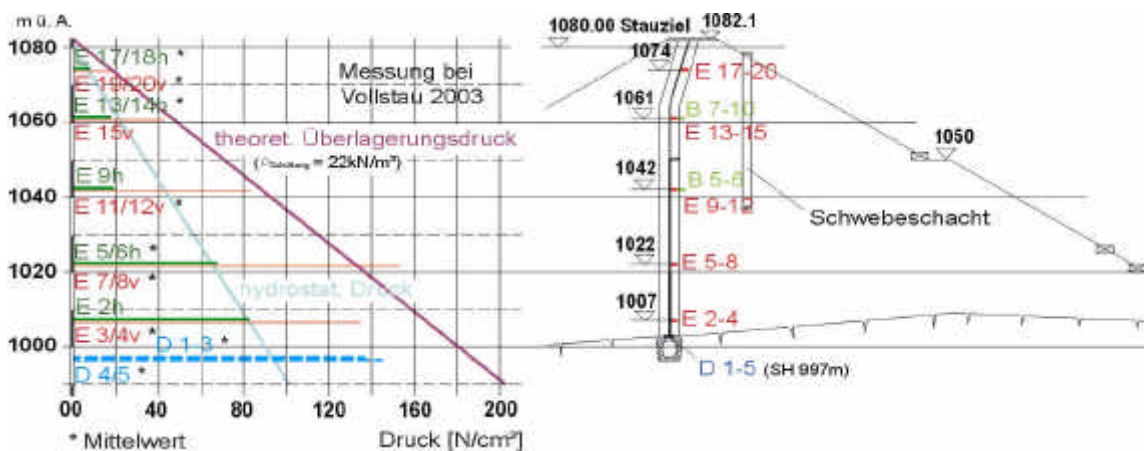


Abb 5 Hauptmessquerschnitt Erddruckmessergebnisse 2003 bei Vollstau

Da das Verhalten verschiedener Dammmatten aufgrund von Spannungsumlagerungen auch einen Einfluss auf die Standsicherheit der Sperre ausübt, sind die Druckmessungen von großem Interesse. Bei den Absolutwerten sind zwar die Einbauverhältnisse zu berücksichtigen, jedoch zeigten Untersuchungen bei Modelldämmen, dass die Glötzl-Geber nur geringfügig zu hohe Werte gegenüber Vergleichsmessungen lieferten. Ein Verhältnis zwischen Horizontal- und Vertikalspannung von 0,5 wird bei nahezu allen Messstellen erreicht. Das Überschreiten des theoretischen Überlagerungsdruckes bei Höhe 1020 könnte aus einer talauß-, taleinseitigen Gewölbekonstruktion im Stützkörper resultieren. Nach einer FE –Berechnung bildet sich etwa im Bereich der größten Setzung, meist in Dammmitte, ein Stützgewölbe aus. Die Spannungsverteilung im Damm wird von einer Gewölbekonstruktion maßgeblich beeinflusst.

Neben dem Spannungszustand in der Dammschüttung werden auch Verformungen an der Oberfläche sowie im Inneren der luftseitigen Dammhälfte in mehreren Horizonten gemessen. In einem 40 m tiefen Schwebeschacht, 13 m luftseitig der Asphaltinnendichtung, sind weitere Messeinrichtungen angeordnet. In zwei Horizonten wurden Extensometer zur Messung einer allfälligen Asphaltstärkenveränderung eingebaut. Die Werte sind jedoch seit Messbeginn unverändert und schwanken nur im Messgenauigkeitsbereich.

3 Zusammenfassung:

Die umfangreiche Instrumentierung der Sperre Feistritzbach liefert eine Reihe von Messdaten, die das Verständnis über das Verhalten des Dammes erweitern. Die Mehrzahl der eingebauten Erddruckgeber reagiert auf Stauspiegelschwankungen des Speichers und dokumentiert die Spannungsumlagerungen. Die bisher nicht nur bei der Kelag sondern weltweit vorliegenden Erkenntnisse über das einwandfreie Verhalten von Dämmen mit Asphaltinnendichtung bestärken das Vertrauen in diese Bauweise. Die zähplastischen Eigenschaften des Asphaltbetons garantieren die einwandfreie Dichtfunktion der Membran in der Dammschüttung, da auch bei größeren Verformungen keine Rissbildung zu erwarten ist. Durch die Zuverlässigkeit beim Betrieb sowie die sektionierte Überwachung im Kontrollgang erfüllt diese Konstruktion des Dammes im Besonderen die gestiegenen Sicherheitsansprüche der heutigen Zeit.

8. Literatur

- [1] Tschernutter P., Nackler K. (1991), Construction of Feistritzbach dam with central asphaltic concrete membrane and the influence of poor-quality rock on the fill behaviour, 17. International Congress on Large Dams, Wien, 1991, Q. 67, R. 27, p.443 - 464
- [2] Neuschitzer F. (1993), Sperre Feistritzbach - Entwurf und Ausführung der Asphaltinnendichtung, Sonderdruck Österr. Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft, Heft 12, Wien, p 814 - 819
- [3] Neuschitzer F. (1993), Sperre Feistritzbach - Entwurf und Ausführung des Dammbaues, Sonderdruck Österr. Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft, Heft 12, Wien, p 804 – 813
- [4] Schnell W. (1994), Spannungsmessungen, Mitteilungen des Instituts für Grundbau

- und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Heft 44, Eigenverlag, p 83 – 103
- [5] Schmid R.(1992) Das Tragverhalten von Erd- und Steinschüttdämmen mit Asphaltbeton-Kerndichtungen, Technische Universität München, Versuchsanstalt für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft, Heft 70
- [6] Strobl T., Schmid R.(1993) The behaviour of dams with asphaltic concrete cores during impounding, Waterpower & Dam Construction, London
- [7] Breth H., Hardt G. (1976) Hohe Steinschüttdämme mit Asphaltbeton-Innendichtung, Der Bauingenieur Nr. 51, Springer Verlag
- [8] Höeg K. (1993) Asphaltic concrete cores for embankment dams, experience and practice, Norwegian Geotechnical Institute,Oslo
- [9] Schober W. (2003) Embankment Dams, Research and development, construction and operation, Schriftenreihe, Die Talsperren Österreichs, ATCOLD, Heft 34

Verfasser

Baumeister Dipl. Ing. Fritz Neuschitzer
Talsperrenüberwachung
KELAG-Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft
Erzeugung
Arnulfplatz 2
A-9020 Klagenfurt
Tel.: +43(0)4 63/5 25-15 13
Fax: +43(0)4 63/5 25-15 61
Mobil: +43(0)6 76/5 59 32 20
E-Mail: fritz.neuschitzer@kelag.at
Internet: www.kelag.at

Rainer Glötzl
Glötzl Gesellschaft für Baumesstechnik mbH
Forlenweg 11
76287 Rheinstetten
Tel.: 07 21/51 66-0
Fax: 07 21/51 66-30
E-Mail: info@gloetzl.com

→ [Zurück zum Inhaltsverzeichnis](#)