

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Fleischhauer, Sven; Hoffmann, Markward

Vollständige Entleerung der Talsperre Falkenstein im Herbst 2013 - Erläuterung und Beurteilung der durchgeführten Überwachungsmessungen sowie des festgestellten Bauwerksverhaltens

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103388>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Fleischhauer, Sven; Hoffmann, Markward (2015): Vollständige Entleerung der Talsperre Falkenstein im Herbst 2013 - Erläuterung und Beurteilung der durchgeführten Überwachungsmessungen sowie des festgestellten Bauwerksverhaltens. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 53. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 283-294.

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.



Vollständige Entleerung der Talsperre Falkenstein im Herbst 2013 - Erläuterung und Beurteilung der durchgeführten Überwachungsmessungen sowie des festgestellten Bauwerksverhaltens

Sven Fleischhauer
Markward Hoffmann

Im Oktober 2013 wurde die Talsperre Falkenstein vollständig entleert. Diese Talsperre liegt im Südwesten von Sachsen, wurde 1971-1975 als Steinschüttdamm mit innen liegender Betonkerndichtung gebaut und hat eine Höhe über Gründungssohle von 27 m. Grund für die Entleerung war eine notwendige Untersuchung der Talsperrenschieber, da bei deren Betrieb Unregelmäßigkeiten festgestellt worden waren. Über einen Zeitraum von drei Wochen wurde die Abgabe der knapp 1 Mio. m³ Wasser so gesteuert, dass sich die Stauhöhe täglich um etwa 0,8 m reduzierte. Ende November 2013 begann der Wiedereinstau, nachdem die Talsperrenschieber kontrolliert wurden.

Das Bauwerksverhalten wurde während dieser Zeit mit einem dafür aufgestellten Messprogramm überwacht. An der Oberkante des Betonkerns traten in Folge der Entleerung wasserseitige Verschiebungen von etwa 20 mm auf. Bereits 16 Jahre vorher erfolgte ebenfalls eine vollständige Entleerung. Damals wurden im gleichen Bereich wasserseitige Verschiebungen von etwa 40 mm festgestellt.

In diesem Beitrag wird das Bauwerksverhalten seit der Bauzeit erläutert. Etwas genauer wird das Bauwerksverhalten in den beiden Zeiträumen bei vollständiger Entleerung 1997/98 bzw. 2013/14 beleuchtet, unter anderem werden dabei bestimmte Messverfahren direkt miteinander verglichen. Darüber hinaus wird auf die Gründe für die unterschiedlich starken Deformationen eingegangen.

1 Einleitung

Die Talsperre Falkenstein wird von der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen betrieben und überwacht. Sie gehört zum Zuständigkeitsbereich des Betriebes Zwickauer Mulde/Obere Weiße Elster und liegt etwa 17 km östlich von Plauen. Die Talsperre dient dem Hochwasserschutz, der Niedrigwasseraufhöhung und Energieerzeugung sowie der Naherholung. Das Absperrbauwerk besteht aus einem Steinschüttdamm mit innen liegender Betonkerndichtung. Der Betonkern ist in Dammmitte angeordnet, er ist etwa 24 m hoch und verjüngt sich von gut 2 m Breite an der Aufstandsfläche auf 1 m an der Oberkante. Die Talsperre wurde in den Jahren 1971 bis 1975 gebaut und staut die Göltzsch.

1.1 Technische Daten

- Kronenlänge: 234 m
- Kronenhöhe über Gründung: 27 m
- Gesamtstauraum: 1,3 Mio. m³



Abbildung 1: Talsperre Falkenstein, Luftbild

1.2 Notwendigkeit der Entleerung

Bei routinemäßigen Funktionsproben wurden wiederholt ungewöhnliche Geräusche bzw. Vibrationen an den Antrieben der Talsperrenschieber festgestellt. Zur Untersuchung dieser Auffälligkeiten wurde die Talsperre im Herbst 2013 vollständig entleert. Bei der Kontrolle der Schieber und der Schiebergestänge zeigten sich keine Auffälligkeiten. Nach den durchgeführten Zustandsdokumentationen und Wartungen wurde bereits nach drei Wochen mit dem Wiedereinstau begonnen. Schon 1997/98 erfolgte eine vollständige Entleerung, um Reparaturen an einem Talsperrenschieber durchführen zu können.

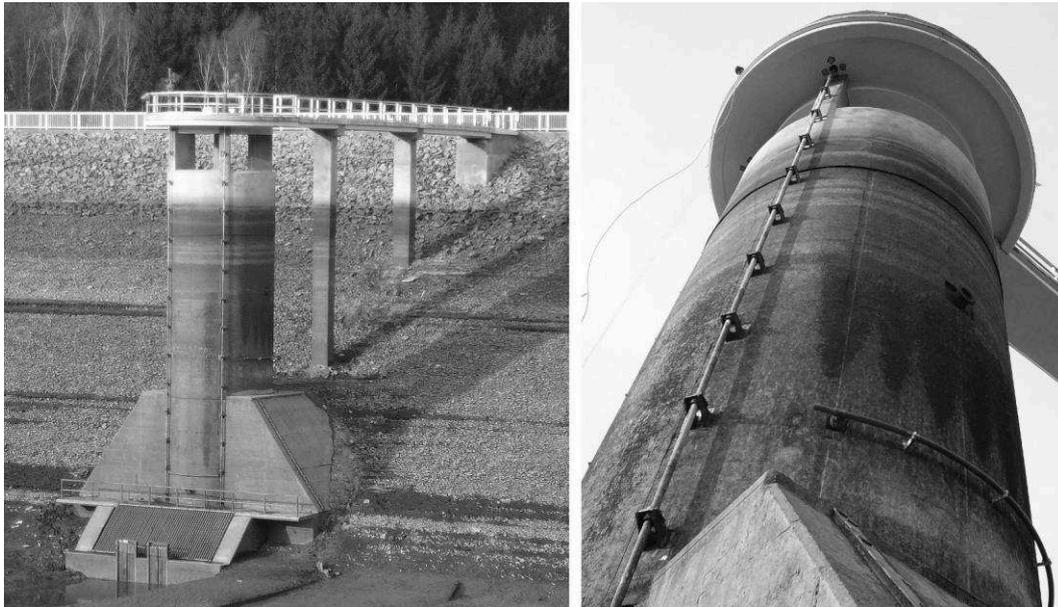


Abbildung 2: HWE-Turm mit Schiebergestänge (HWE=Hochwasserentlastung)

2 Messtechnische Bauwerksüberwachung

2.1 Bauwerksverhalten

Mit Beginn des Ersteinbaus 1975 wurden Kernbewegungen in luftseitiger Richtung festgestellt. Bereits nach einem Jahr betrug die luftseitige Auslenkung der mittleren Kernfelder an der Kernoberkante ca. 50 mm, nach fünf Jahren waren es im gleichen Bereich ca. 150 mm. Im weiteren zeitlichen Verlauf setzten sich die luftseitigen Kernbewegungen fort, allerdings mit einer immer geringeren Geschwindigkeit. Stauhöhenabsenkungen führten und führen zu fast unmittelbar einsetzenden Kernbewegungen in Richtung Wasserseite. Auf die Gründe für die Bewegungen wird im Kapitel 3 näher eingegangen.

2.2 Überwachungssystem/Messprogramm

Aufgrund des Dammaufbaus mit einem Betonkern als Dichtung und dessen großen Bewegungen kommt der Überwachung des Kerns seit der Inbetriebnahme eine große Bedeutung zu.

Neben dem Kern werden natürlich auch der Dammkörper, der Bereich Brücke/HWE-Turm und Zugangs-/HWE-Stollen nach Lage und Höhe überwacht. Außerdem erfolgen in den verschiedenen Bauwerksbereichen Sickerwasser- und Wasserstandsmessungen. In der folgenden Tabelle sind die wesentlichen Messverfahren mit normalem Messintervall bzw. mit angepasstem Messintervall für die Entleerung im Herbst 2013 dargestellt.

Tabelle 1 Messprogramm Talsperre Falkenstein - Auszug

Messverfahren	Messstellen	Messintervall normal	Messintervall Herbst 2013	überwachtes Bauteil
Beckenpegel	1	15 min	15 min	---
Sickerwasserabfluss	8	15 min	15 min	alle Bauteile
Schwimmlot (L)	2	15 min	15 min	Betonkern
Sickerlinienpegel	6	2 Wochen	1 Woche	luftseitiger Damm
Geometr. Alignment (L)	6	1 Monat	1 Woche	Betonkern
Inklinometer (L)	4	1 Monat	2 Wochen	luftseitiger Damm
Tachymetrie (L+H)	6	3 Monate	1 Woche	luftseitiger Damm
Tachymetrie (L)	1	3 Monate	1 Woche	HWE-Turm
Geometr. Nivellement (H)	41	3 Monate	1 Monat	alle Bauteile

(L)...Lagemessung, (H)...Höhenmessung

2.3 Ergebnisse im Herbst 2013

Der Abstau begann am 17.10.2013 und dauerte 24 Tage. Pro Tag wurde die Stauhöhe um etwa 0,8 m reduziert, insgesamt 18,8 m. Einige Tage vor Beginn des Abstaus, sowie etwa eine Woche nach dem Ende wurde jeweils das vollständige Messprogramm durchgeführt. Die im Folgenden dargestellten Deformationen traten alle im Zeitraum 14.10. bis 19.11.2013 auf. In Abbildung 3 sind die wasserseitigen Verschiebungen an der Kernoberkante dargestellt. Mit dem Geometrischen Alignment wurden maximal 18 mm gemessen.

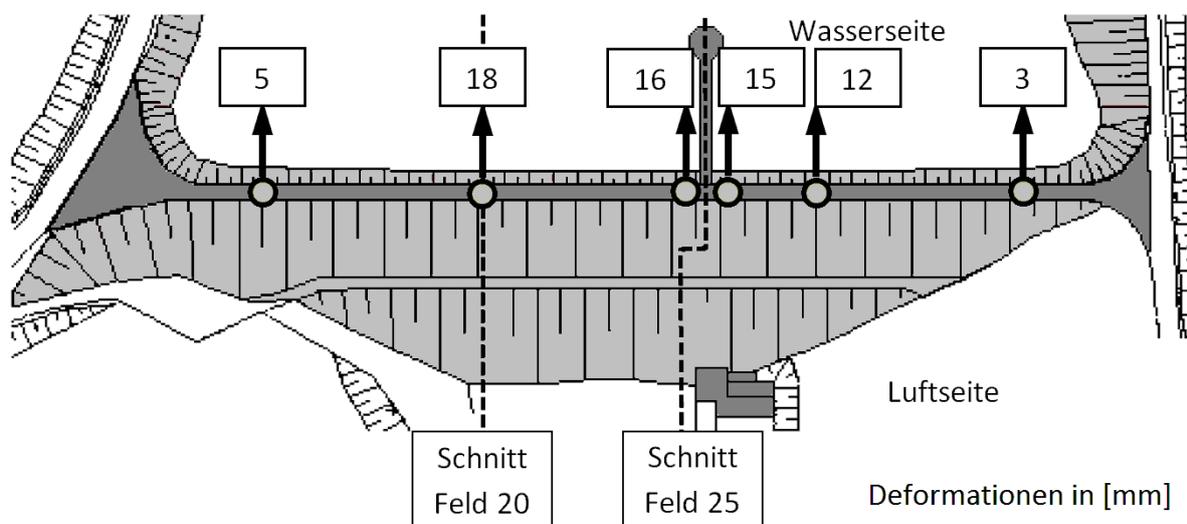


Abbildung 3: Horizontalverschiebungen an der Kernoberkante

In Abbildung 4 ist ein Schnitt durch das Feld 20 mit den dort aufgetretenen Horizontalverschiebungen und Setzungen dargestellt. Die hier vorhandenen Messpunkte sind im oberflächennahen Bereich des luftseitigen Damms angeordnet. Eine Verbindung zum Betonkern besteht bei keinem der Punkte. Die größten Deformationen traten im kronennahen Bereich mit Verschiebungen von 19 mm bzw. Setzungen von 13 mm auf. Auf Höhe der Berme zeigten sich deutlich geringere Deformationen.

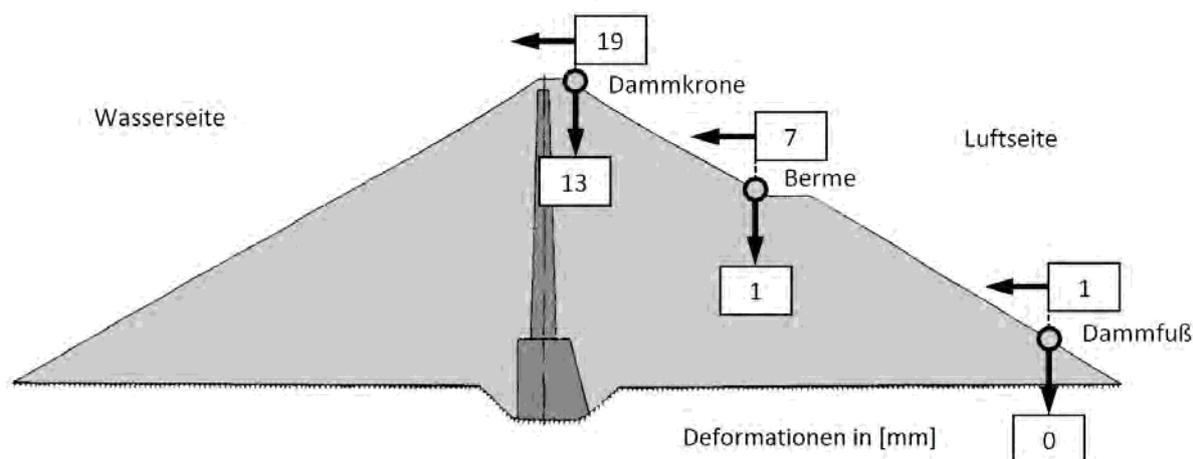


Abbildung 4: Schnitt Feld 20, Horizontalverschiebungen und Setzungen

Eine ähnliche Darstellung ist in Abbildung 5 vorhanden. Bei diesem Schnitt durch das Feld 25 ist zusätzlich noch ein Teil der Hochwasserentlastungsanlage abgebildet. Es ist zu erkennen, dass die Verschiebungen und Setzungen etwas geringer sind, als im Schnitt Feld 20. An der wasserseitigen Dammschüttung konnten außerdem am Widerlager bzw. an der Stütze Setzungen von etwa 10 mm festgestellt werden. Setzungen am Betonkern zeigten sich nicht. Die beim Abstau aufgetretene wasserseitige Bewegung des Kerns hat sich auch an der Fuge zwischen Widerlager und erstem Brückenelement deutlich bemerkbar gemacht. Sie hat sich um 14 mm geschlossen, während an den weiteren drei Fugen nur geringe oder keine Veränderungen auftraten.

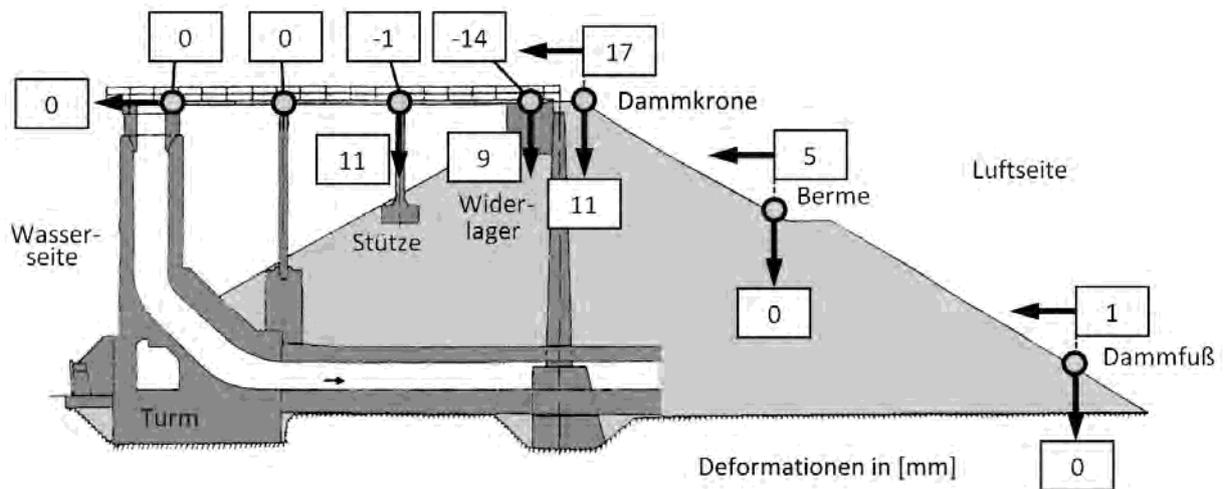


Abbildung 5: Schnitt Feld 25, Horizontalverschiebungen und Setzungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die größten Verschiebungen in Richtung Wasserseite im kronennahen Bereich aufgetreten sind. Die größten Setzungen wurden im gleichen Bereich, sowohl luft- als auch wasserseitig des Betonkerns festgestellt.

2.4 Ergebnisvergleich 2013 mit 1997

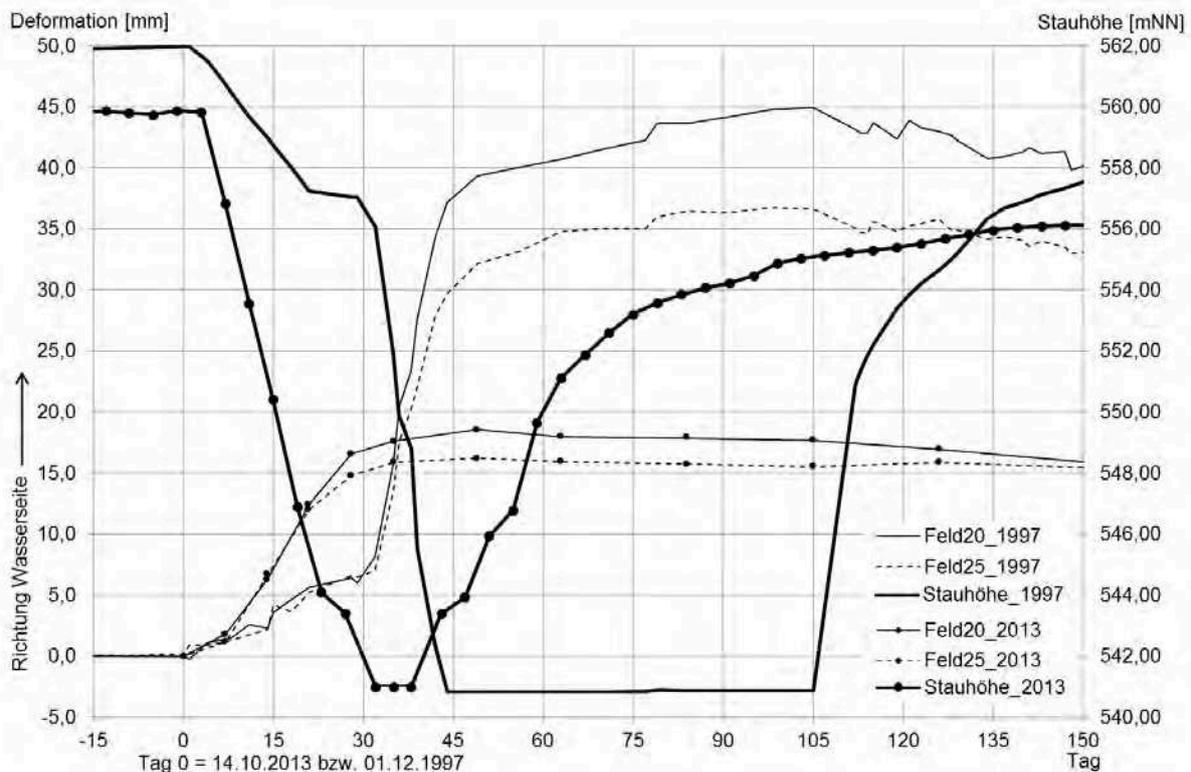


Abbildung 6: Vergleich Geometrisches Alignment 2013 und 1997

Wie schon erwähnt erfolgte bereits 1997 eine vollständige Entleerung der Tal-sperre. In Abbildung 6 sind die Horizontalverschiebungen an der Kernoberkante (gemessen mit dem Geometrischen Alinement) beider Zeiträume dargestellt. Wie dem Diagramm zu entnehmen ist, traten am Beispiel des Kernfeldes 20 1997 mit 45 mm mehr als doppelt so große Verschiebungen auf, wie 2013 mit 18 mm. Ein weiterer Unterschied ist bei der Stauhöhe vor Beginn des Abstaus zu erkennen: während 1997 bei 562,00 mNN begonnen wurde, erfolgte der Ab-stau 2013 ab einer Stauhöhe von 560,00 mNN. Auf den Einfluss dieser unter-schiedlichen Ausgangsbedingungen wird im Kapitel 3 näher eingegangen.

In der folgenden Abbildung 7 werden die aufgetretenen Setzungen im Damm verglichen (gemessen mit dem Geometrischen Nivellement). Während sich 1997 der kronennahe Bereich der luftseitigen Dammschüttung knapp 35 mm gesetzt hat, wurden an gleicher Stelle 2013 nur 13 mm gemessen.

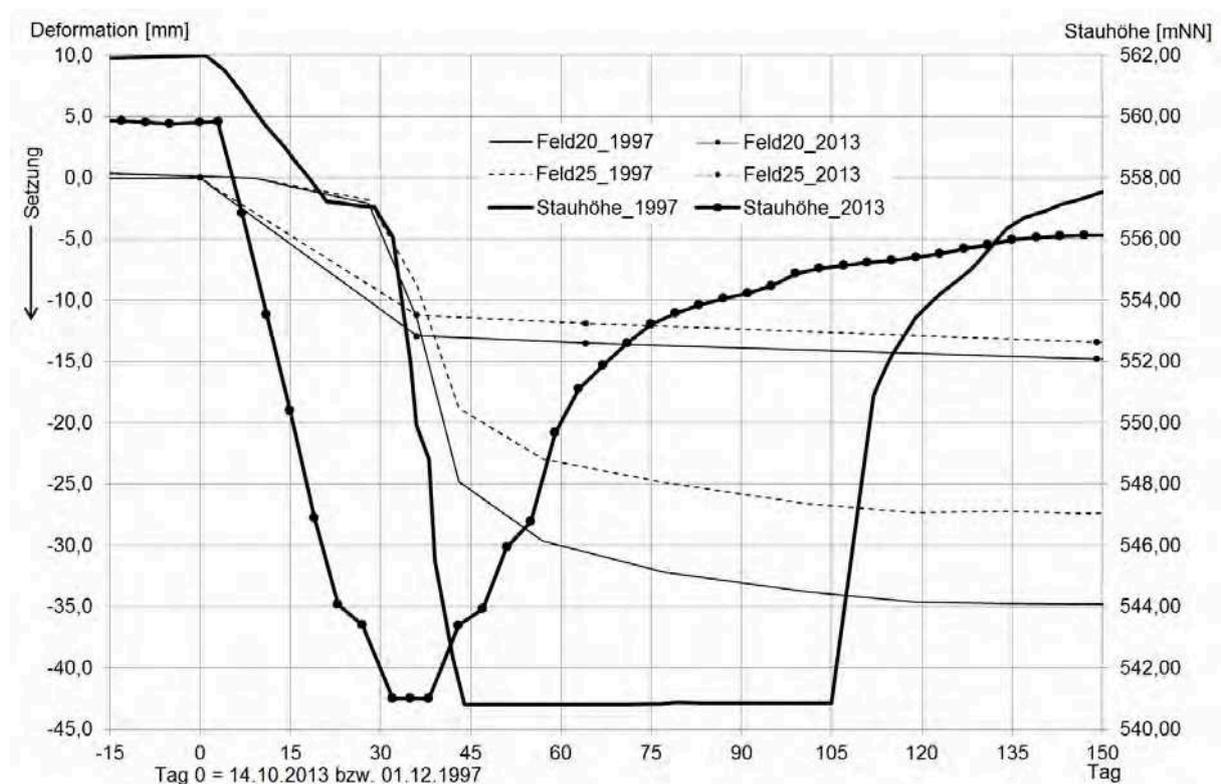


Abbildung 7: Vergleich Geometrisches Nivellement 2013 und 1997

3 Verformungs- und Tragverhalten

Die Gründe für das Verformungs- und Tragverhalten des Staudammes der Tal-sperre Falkenstein sind in den Materialeigenschaften der Dammschüttung zu suchen. Es handelt sich um Phyllit, ein silbrig- seidenartig glänzendes aus

Tonschiefer hervorgegangenes Ausgangsgestein, aus dem das eingebaute Material in den 1970er Jahren mittels Sprengverfahren gewonnen wurde. Es hat eine kantige, stückig-schiefrige bzw. plattige bis flachstängelige und blättrige Kornform. Beim Schütten regelt sich dieses Material ohne weiteren äußeren Einfluss zu einem wesentlichen Teil selbständig horizontal ein. Die Kornoberflächenbeschaffenheit ist vorzugsweise glatt, mit anhaftendem tonig-schluffigem Abrieb, der bei Feuchtigkeitzufuhr durch Sickerwasser rutschig-gleitend wird. Es hat die im Folgenden beschriebenen Eigenschaften.



Abbildung 8: Dammschüttmaterial

1970 wurde im Komplexen Baugrundgutachten ein Reibungswinkel $\varphi=38^\circ$ und eine Kohäsion des Stützkörpermaterials von ca. $c'=105 \text{ kN/m}^2$ experimentell mittels Kasten-Scherversuchen nachgewiesen. Diese wurde als scheinbare Kohäsion angesehen, die versuchstechnisch bedingt und nicht wirklich vorhanden war und deshalb damals nicht angesetzt wurde. Der erste Standsicherheitsnachweis für das Absperrbauwerk wurde 1972 in der Bauzeit nach dem damaligen Stand der Technik mit diesen Parametern erstellt.

Für spätere Berechnungen wurden die Versuche in den 1990er Jahren noch einmal ausgewertet. Es wurden jetzt auch Wertepaare von ca. $\varphi=35^\circ$ und $c'=40 - 45 \text{ kN/m}^2$ für Variantenberechnungen des Standsicherheitsnachweises verwendet. Diese Kohäsion des Schüttmaterials ist nicht vergleichbar mit der Kohäsion bindiger Böden; nur durch die Verzahnung der Körner bei Behinderung des Ausweichens wird im Innern des Dammes eine sog. geotechnische Kohäsion erzeugt.

Das ungewöhnliche Verformungsgeschehen zeigte sich schon bald nach dem Bau des Staudamms 1975. Die im kronennahen Bereich des Dammkörpers aufgetretenen Verschiebungen (bis 255 mm am Beton-Dichtungskern bei der Alig-nementsmessung in Feld 20) und ähnliche Setzungen führten in den 1990er

Jahren zu sichtbaren Schäden. Dies zog zahlreiche Untersuchungen nach sich. 1994 wurden in einer sekundärstatistischen Auswertung die relativ starken Horizontalverformungen in Verbindung mit Dammsetzungen als „Volumenkriechen“ beschrieben. Aus den Ergebnissen der Messungen zur Bauwerksüberwachung der vorangegangenen Betriebsjahre wurden bei Betrachtung eines Teilquerschnittes ohne den Fußpunkt des Dammes ca. 0,08% Volumenkriechen errechnet; diesen Einschätzungen stehen Werte aus vorangegangenen Untersuchungen über einen Zeitraum von ca. 15 Jahren nach Ersteinbau in der Größenordnung von 0,3% bis 0,6% gegenüber. Deswegen wurde 1995 eine Stauspiegelabsenkung um 1,5 m verfügt, um Sicherheitsreserven zu erhalten, Verschiebungen des Betonkerns zu vermindern, und Fugenblechen zu vermeiden. Das abgesenkte Stauziel wurde bis Mitte 1997 gehalten.

Zwischen Sept. 1995 und Sept. 1996 wurde die Dammkrone rekonstruiert und einige ausgewählte undichte Feldfugen mit Plexilith abgedichtet, nachdem es an der Dammkrone starke Verformungen und Setzungen wegen der Verdrehung des Dichtungskerns gegeben hatte und, vermutlich weil die Kupferbleche in den Feldfugen in Mitleidenschaft gezogen worden waren, es zu einem Ansteigen der Sickerwassermengen gekommen war. Damit die Drainagewege nicht verstopften, wurden sie während der Verpressung gespült. Die Abdichtung war an vielen Stellen nicht erfolgreich, weil das Gel vom Spülwasser fortgespült wurde.

Auch nach dem Wiederhöherstau 1997 bestätigte sich nach den Verschiebungsmessungen die schon vorher getroffene Feststellung, dass der Trend zu bleibenden luftseitigen Verschiebungen durch die Staubeschränkung (abgesenkte Phase von rund 1100 Tagen um 1,5 m bis Mitte 1997) nicht aufgehalten werden konnte. Die Auswertungen zeigen deutliche Abhängigkeiten zwischen Laständerungen und Kernbewegungen. Schon bei geringen Absenkungen reagiert der Kern mit wasserseitig gerichteten Bewegungen, die bei entsprechender Stauhaltung in dieser Höhe nach wenigen Tagen wieder in den alten Trend zu luftseitigen Bewegungen umschlägt.

Um die Jahreswende 1997/98 wurde der Stausee für eine Reparatur des linken Talsperrenschleibers entleert. Während der Zeit der Absenkung wurden bisher nicht sanierte, d.h. nicht verfüllte Federschächte mit Plexilith-Gel nachgedichtet. Dabei wurden auch die horizontalen Fugen erreicht, so dass sich insgesamt ein guter Dichtungserfolg ergab. Dabei hat der Betonkern sofort auf die Laständerung mit wasserseitig gerichteten Verschiebungen reagiert. Es wurden an der Kernoberkante Verschiebungen bis 45 mm zur Wasserseite gemessen. Diesen Verschiebungen hat sich der Stützkörper angepasst und ist dabei in Dammkronenhöhe an der Luftseite bis 35 mm abgesackt. Der Einfluss dieser Verformungen

reicht bis Höhe Berme. Das wurde auch mit einer FE-Berechnung nachvollzogen (siehe Abbildung 9).

Der Abschlussbericht des Sonderstauprogramms/Probetaus hatte zum Ergebnis, dass aufgrund der Auswertung und Beurteilung der Messwerte keine unmittelbare Gefahr für die Sicherheit der Talsperre bestand. Die Talsperre konnte somit wieder voll eingestaut werden. Es fehlte jetzt noch eine Anpassung des Standsicherheitsnachweises an die neue DIN 19700, die in dieser Zeit neu verfasst wurde und im Entwurfsstadium vorlag. Deswegen wurde 2001 ein externer Sachverständiger damit beauftragt, einen Standsicherheitsnachweis unter Verwendung der bisher bekannten Scherparameter zu führen. Der Damm erwies sich in einzelnen Lastfällen als nicht standsicher. Böschungsbruch war möglich, wenn das Stützkörpermaterial kohäsionslos ist wie angenommen werden musste. Die ungünstigsten Gleitkreise liegen fast alle in der Nähe oder auf der äußeren Böschung.

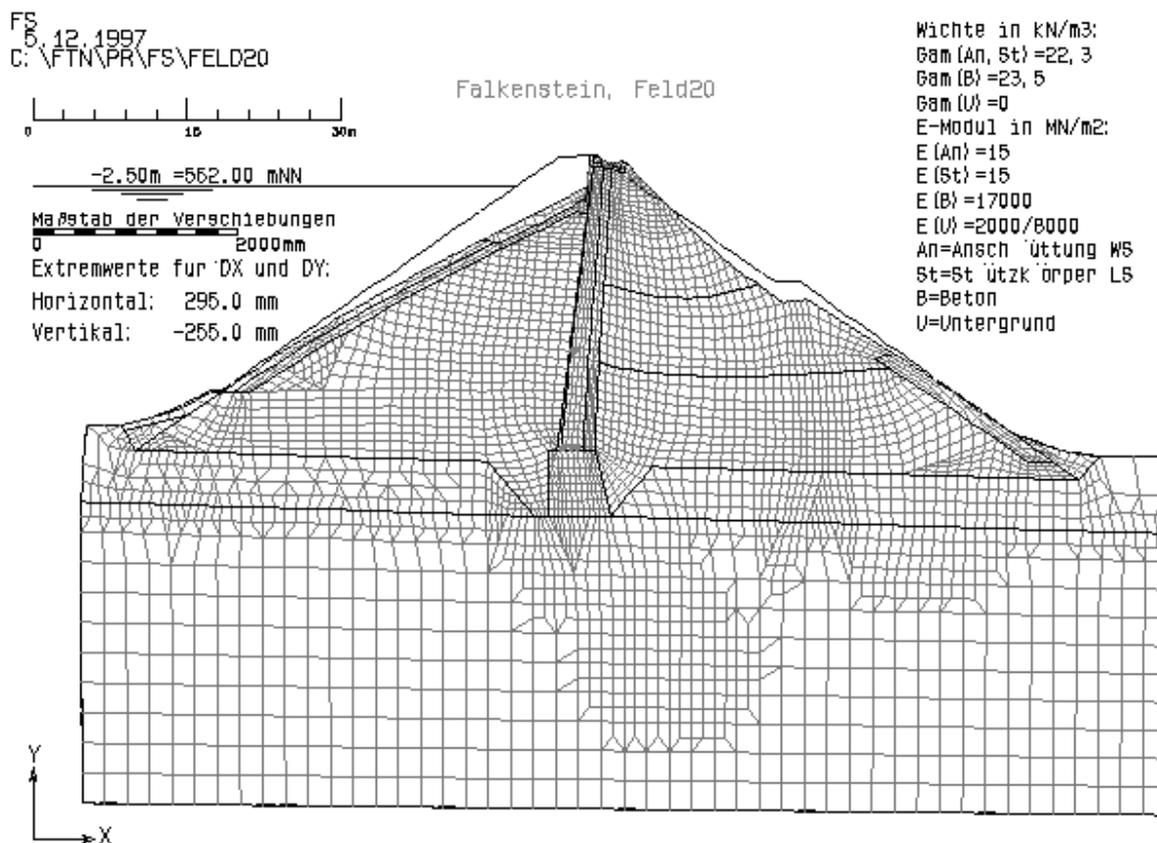


Abb. . . : Lastfall Stauziel, Verformungen und FE-Netz
 Eigengewicht+Wasserdruck
 Betonkernverformungen als RB angesetzt

Abbildung 9: FE-Modell: Verformungen (in überhöhtem Maßstab)

Im Lastfall Sicherheitserdbeben gibt es sogar mit Ansatz von Kohäsion schon Böschungsbruch an der Wasserseite. Weitere Defizite gibt es beim Tangensvergleich an dem oberen steilen Stück der wasserseitigen Böschung, die 1:1,4 geneigt ist.

Wegen dieser Standsicherheitsprobleme und des Verformungsverhaltens wurde die erste Vertiefte Überprüfung (VÜP) innerhalb der LTV an der Talsperre Falkenstein begonnen, deren Kernbestandteil 2002 eine Verhaltensanalyse war. Diese hatte u. a. zum Ergebnis, dass die messbare Kronenverschiebung mit einer großen Genauigkeit vorhergesagt werden kann, jedenfalls solange es keine großen Stauspiegeländerungen gibt. Die Verformung des Betonkerns würde weiter zunehmen, ohne einen Grenzwert zu erreichen, wenn die Talsperre voll eingestaut bliebe. Die Totalabsenkung 1997/98 hatte die Verformung nur verzögert, aber nicht aufgehalten - sie ist bleibend um ca. 25 bzw. 30 mm niedriger als sie ohne Absenkung wäre. Beim Abstau 1997/98 hat sich das Dammschüttmaterial verfestigt, so dass danach beim Wiedereinstau geringere Verformungen aufgetreten sind. Bezüglich der Standsicherheitsberechnungen ergab die VÜP, dass eine geotechnische Kohäsion von (nur) 11 kN/m² erforderlich wäre, um alle Lastfälle normgerecht nachweisen zu können.

Für die Talsperre wird Ende 2003 als Ergebnis der VÜP eine Stauzielbeschränkung um 2 m (von 562,00 auf 560,00 mNN) verfügt. Durch die Absenkung wird die Standsicherheit allgemein, besonders aber in den Lastfällen Erdbeben und Versagen der Dichtung und Drainage, positiv beeinflusst. Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks sollten gleichzeitig verbessert werden, indem durch eine geringere Belastung die Deformationsgeschwindigkeit des Betonkerns verringert wird und die noch vorhandenen Verformungsreserven der Fugendichtungsbleche somit langsamer aufgezehrt werden. Diese Maßnahme hatte unerwarteten durchschlagenden Erfolg: Die Horizontalverformungen hörten praktisch vollständig auf. Das gesamte Verformungsgeschehen beruht demnach nur auf der Wasserlast aus den oberen zwei Metern der hydrostatischen Belastung. Deswegen gab es auch beim Abstau 2013 sehr viel geringere Horizontalverschiebungen zur Wasserseite als 1997.

Damit war das Problem der nicht nachgewiesenen Standsicherheit aber noch nicht für alle Lastfälle gelöst, so dass ein neues Kennwertgutachten beauftragt werden musste, um zusätzliche verborgene Reserven auszuloten.

Bei den Aufschlussbohrungen von 2006 zur Materialgewinnung für die neue Kennwertermittlung und einen neuen Sickerlinienpegel zeigten sich im Dammkörper geringmächtige Zwischenlagen mit erhöhtem Feinkornanteil und etwas niedrigeren Scherfestigkeiten, die allerdings schon vorher bekannt waren. Diese

sind zwar nicht durchgängig bzw. einheitlich über den gesamten Dammquerschnitt vorhanden, aber sie begünstigen die Dammverformungen.

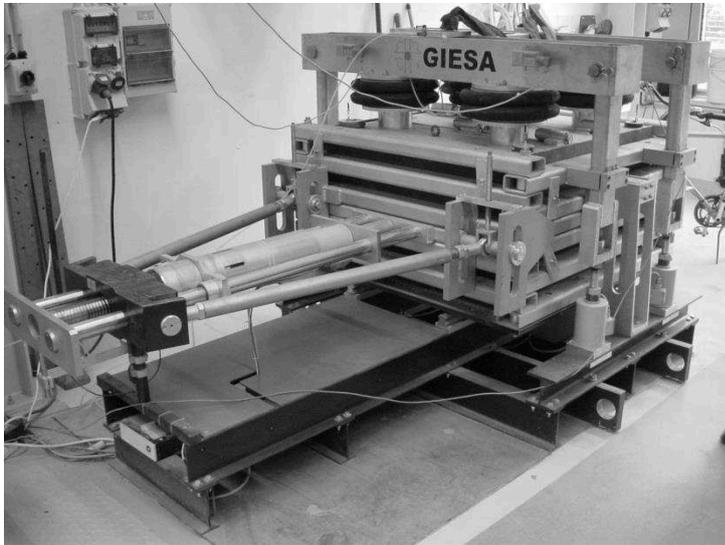


Abbildung 10: Großschergerät (HTW Dresden)

Die Laborversuche an dem Aushubmaterial (siehe Abbildung 8) wurden in Dresden mit einem 1m*1m großen Scherkastenprüfgerät (Abbildung 10) ausgeführt. Sie ergaben die Kennwerte: Steinschüttung (Stützkörper) $\text{cal } \varphi' = 35,3^\circ$, $\text{cal } c' = 17,6 \text{ kN/m}^2$ und dazu abgeminderte Kennwerte für die Tragwiderstandsbedingungen B und C. Damit konnte 2009 endlich der Standsicherheitsnachweis für alle Lastfallkombinationen nach DIN 19700 vollständig und abschließend geführt werden.

Autoren:

Dipl.-Ing.(FH) Sven Fleischhauer

Dr.-Ing. Markward Hoffmann

Landestalsperrenverwaltung
des Freistaates Sachsen

Landestalsperrenverwaltung
des Freistaates Sachsen

Bahnhofstraße 14
01796 Pirna

Bahnhofstraße 14
01796 Pirna

Tel.: +49 3501 796 451
E-Mail: sven.fleischhauer
@ltv.sachsen.de

Tel.: +49 3501 796 364
E-Mail: markward.hoffmann
@ltv.sachsen.de