

Modellversuche zur Lösung hydraulischer Probleme an der Hochwasserentlastung der Talsperre Ohra

Kurzfassung

Die Hochwasserentlastungsanlage der Talsperre Ohra in Thüringen besteht aus einem Schachtüberfall mit anschließendem Fallschacht und Freispiegelstollen zum Tosbecken. Durch ungünstige konstruktive Besonderheiten der Anlage verursachte die beim Betrieb mitgerissene Luft Druckpulsationen und instationäre Abfluvorgänge am Stollenauslauf und im Tosbecken. Mit Hilfe hydraulischer Modellversuche wurden im Hubert-Engels-Laboratorium der Technischen Universität Dresden Varianten zur Verbesserung des Abfluvhaltens untersucht. Als Vorzugslösung konnte die Anlage eines zusätzlichen Entlüftungstollens über dem vorderen Bereich des Freispiegelstollens ermittelt werden. Diese Maßnahme wurde an der Talsperre ausgeführt und hat sich bewährt.

Abstract

The overfall spillway of the Ohra-dam in Thuringia consists of a spillway followed by a drop shaft and a free surface gallery to the stilling basin. Because of the unfavourable design of the construction the included air causes pressure pulsations and thus an irregular discharge at the end of the gallery and in the stilling basin. By means of hydraulic modell tests different possibilities were inspected by the Hubert-Engels-Laboratory of the Dresden Technical University. As a conclusion the construction of an additional bleeding tunnel above the front range of the free surface gallery could be determined as a preferred solution. This measure was carried out at the dam and has proved to be successful.

1 Einführung und Problemstellung

Die Talsperre Ohra liegt am Nordrand des Thüringer Waldes ca. 20 km südlich der Stadt Gotha. Sie ist eine der großen Trinkwassertalsperren der Thüringer Talsperrenverwaltung und liefert im Verbund mit den Talsperren Schmalwasser und Tambach-Dietharz Rohwasser zur Trinkwasserversorgung von nahezu 700.000 Einwohnern Nord- und Mittelthüringens an den Fernwasserzweckverband Nord- und Ostthüringen.

Die Talsperre ist durch die in Tabelle 1 dargestellten wasserwirtschaftlich-technischen Daten gekennzeichnet [1].

Einzugsgebiet	67,40 km ² (davon 33 km ² Beileitung)
Jahresabflußmenge	53,61 hm ³ (davon 27,34 hm ³ Beileitung)
mittl. jährl. Rohwasserabgabe	36,50 hm ³
Gesamtstauraum	18,40 hm ³
Staufläche	0,82 km ²
Kronenlänge	260,0 m
Höhe über Gründung	58,50 m
Kubatur (Steinschüttdamm mit Asphaltbetonaußenhautdichtung)	950,0 Tm ³

Tabelle 1: Technische Daten der Talsperre Ohra [1]

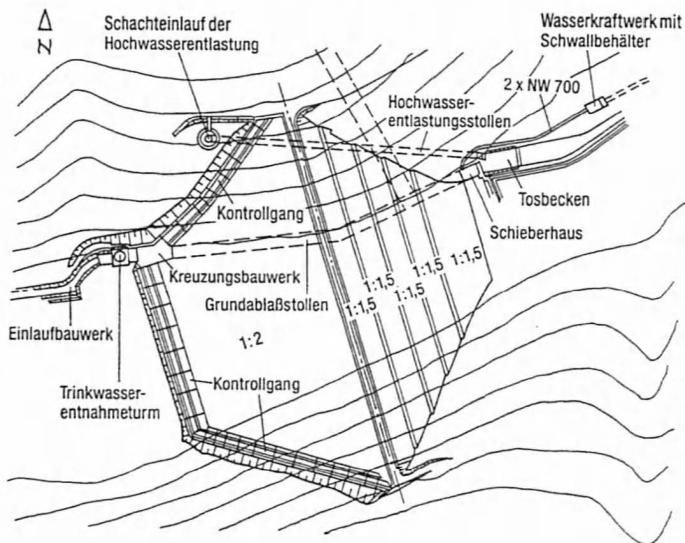


Bild 1: Lageplan der Sperrstelle

Zur Hochwasserentlastung dient ein im linken Hang angeordneter Schachtüberfall mit 11,0 m Durchmesser und kreisrunder Überfallkrone mit sechs aufgesetzten Pfeilern. Der Einlaufbereich ist nach den OFICEROV-Koordinaten geformt und verengt sich allmählich bis auf 3 m.

Der anschließende Fallschacht hat eine Länge von 39,6 m. Nach einem glatten Krümmer schließt sich ein 180 m langer, am Anfang kreisrunder, am Ende torbogenförmig ausgebildeter Freispiegelstollen mit einem Gefälle von 1,25 % zum Tosbecken hin an.

Im räumlich wirkenden Tosbecken sollte ein quer zur Fließrichtung angeordneter Stoßbalken die Energieumwandlung verbessern. Der Ablauf zum Unterwasser erfolgt über eine abgetrepte Endschwelle mit aufgesetzter REHBOCK'scher Zahnschwelle.

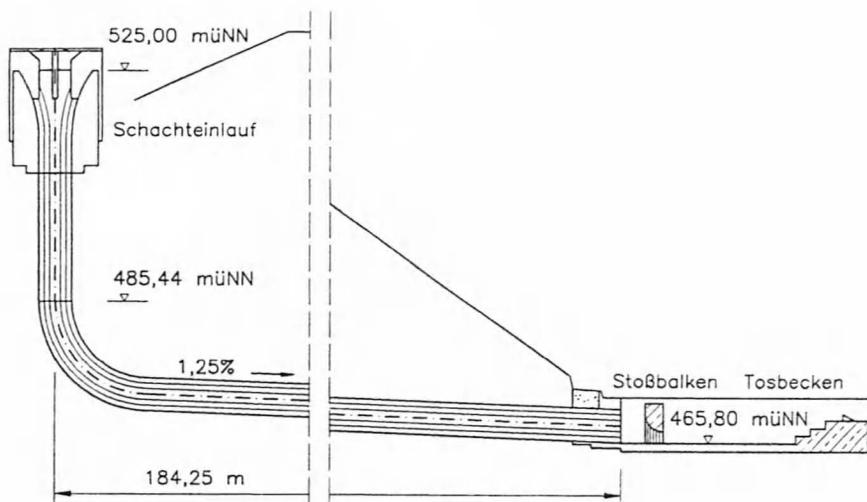


Bild 2: Längsschnitt durch die Hochwasserentlastungsanlage vor der Sanierung

An der Hochwasserentlastungsanlage der 1966 erstmals eingestauten Talsperre wurde unter Betriebsbedingungen festgestellt, daß, bedingt durch die ungünstigen geometrischen Verhältnisse und konstruktive Besonderheiten von Freispiegelstollen und Tosbecken, die vom Überfallstrahl durch turbulente Diffusion mitgerissene Luft nur unzureichend am Stollenmundloch entweichen konnte, was zu instationären Abflußvorgängen im Stollen und zu hydraulisch-pneumatischen Effekten im Tosbecken und im Schachtüberfall selbst führte und so die Leistungsfähigkeit der Gesamtanlage, besonders bei Wassermengen bis etwa $18 \text{ m}^3/\text{s}$, stark einschränkte. Außerdem waren die schwallweisen Austritte des Wasser-Luft-Gemisches mit Druckpulsationen verbunden, bei denen einerseits negative Auswirkungen auf die Standsicherheit der Stauanlage befürchtet werden mußten und die andererseits zu Belästigungen der im Spritzbereich liegenden Bebauung führten [4].

Da es sich bei den hier beschriebenen Erscheinungen um sehr komplexe hydraulische Vorgänge einer Zwei-Phasen-Strömung handelt, war es naheliegend, mit Hilfe umfangreiche Modellversuche die Gesamtproblematik zu untersuchen und verschiedene Varianten zu konstruktiven Änderungen an der

Hochwasserentlastungsanlage hinsichtlich ihrer Wirksamkeit am Modell zu beurteilen.

Mit der Durchführung dieser Untersuchungen wurde das Hubert-Engels-Laboratorium der TU Dresden durch die damals zuständige Oberflußmeisterei Erfurt beauftragt. Die Versuchsdurchführung erfolgte 1987/88 im Rahmen eines Ingenieurpraktikums mit nachfolgender Interpretation und Erarbeitung eines Gutachtens durch die Sektion Wasserwesen, Bereich Wasserbau und Technische Hydromechanik [2].

2 Planung und Durchführung der Modellversuche

2.1 Zielstellung und Versuchsaufbau

Grundlage zur Beurteilung der Wirksamkeit der in den weiteren Modellversuchen untersuchten konstruktiven Veränderungen bildete eine Modellierung der Hochwasserentlastungsanlage im Ist-Zustand.

In weiteren Versuchsserien wurden einzelne Umbauten an den Bauteilen der Hochwasserentlastung und Kombinationen davon hinsichtlich ihrer Auswirkung auf das Luftabführvermögen und das Abflußverhalten insgesamt untersucht und beurteilt.

Für die zu untersuchenden hydraulischen Vorgänge wie Überfall, Rohrströmung und Freispiegelabfluß mit Wechselsprung sind i.w. Trägheits- und Schwerkkräfte maßgebend, so daß zur Modellierung die in Tabelle 2 dargestellten FROUDE'schen Ähnlichkeitsgesetze zur Anwendung kamen.

Größe	Maßeinheit	Umrechnungsfaktor	
		allgemein	Modell „Ohra“
Länge, Breite, Höhe	m	M	20
horizontale und vertikale Flächen	m ²	M ²	400
Volumen	m ³	M ³	8000
Durchfluß	m ³ /s	M ^{3/2}	1788,85
Geschwindigkeit	m/s	M ^{1/2}	4,47
Gefälle	-	M ⁰	1
MANNING-Beiwert	m ^{1/3} /s	M ^{-1/6}	0,607

Tabelle 2: Maßstabsfaktoren nach FROUDE

Unter Beachtung der räumlichen Verhältnisse im Labor und in Anlehnung an internationale Versuchsstände zu Schachtüberfällen wurde ein Modellmaßstab von 1 : 20 ohne Überhöhung gewählt. Damit ergaben sich die in Tabelle 3 enthaltenen Modellabmessungen.

Bezeichnung	Natur	Modell
Höhe der HWE (von Überfallkrone bis Sohle Tosbecken)	59,2 m	2,96 m
Durchmesser Fallschacht und Stollen	3,00 m	0,15 m
Radius Fallschachtkrümmer	15,0 m	0,75 m
Durchmesser Schachteinlauf	11,0 m	0,55 m
Länge Schachteinlauf	9,00 m	0,45 m
Länge Fallschacht	30,0 m	1,50 m
Länge Freispiegelstollen	158,4 m	8,00 m
Gefälle Freispiegelstollen	1,25 %	1,25 %
Länge Übergangsstrecke am Stollenauslauf	10,0 m	0,50 m
Länge Tosbecken (ohne Zahnschwelle)	25,3 m	1,26 m
Breite Tosbecken	12,0 m	0,60 m
ausgewählte Durchflüsse	2,00 m ³ /s	1,12 l/s
	10,0 m ³ /s	5,59 l/s
	20,0 m ³ /s	11,18 l/s
	46,8 m ³ /s	26,16 l/s

Tabelle 3: Modellabmessungen

Der verwendete Schachtüberfall bestand aus Aluminiumguß und befand sich in einem, den Stauraum nachbildenden Glasfaser-Polyester-Behälter mit entsprechender Wasserzuführung und -verteilung. An den Schachtüberfall schloß sich der Fallschacht aus Piacryl DN 150 an. An dessen unterem Ende erfolgte der Übergang auf eine Glasrohrleitung zur Nachbildung des Krümmers und des Freispiegelstollens. Die Übergangsstrecke mit dem Querschnittswechsel zum Tosbecken wurde aus Piacryl nachgebildet und mit Hilfe einer Flanschverbindung am Stollen befestigt.

Zur Nachbildung des Tosbeckens in geometrischer Ähnlichkeit kamen PVC-Platten zur Anwendung. Zur Beobachtung und Dokumentation der Strömungsvorgänge und Energieumwandlung im Tosbecken wurde eine Seitenwand sowie der Stoßbalken aus Piacryl hergestellt. Die End- und Zahnschwelle bestand aus verschiedenen Segmenten, die wahlweise demontiert werden konnten, um verschiedene Tosbeckenwasserstände nachbilden zu können.

Der Aufbau des Versuchsstandes ist in Bild 3 dargestellt.

2.2 Meßprogramm und Versuchsdurchführung

Die nachfolgend beschriebenen Meßverfahren wurden einheitlich für alle Versuchsserien durchgeführt und protokolliert. Spezielle Messungen bei einzelnen Versuchsreihen werden dort beschrieben. Die Bestimmung des Durchflusses am Modell erfolgte mit Hilfe von drei unabhängigen Meßverfahren. So wurde der Abfluß hinter dem Tosbecken mit einem geeichten Meßwehre mit Stechpegel bestimmt. Als zweites Verfahren kam eine Meßblende in der

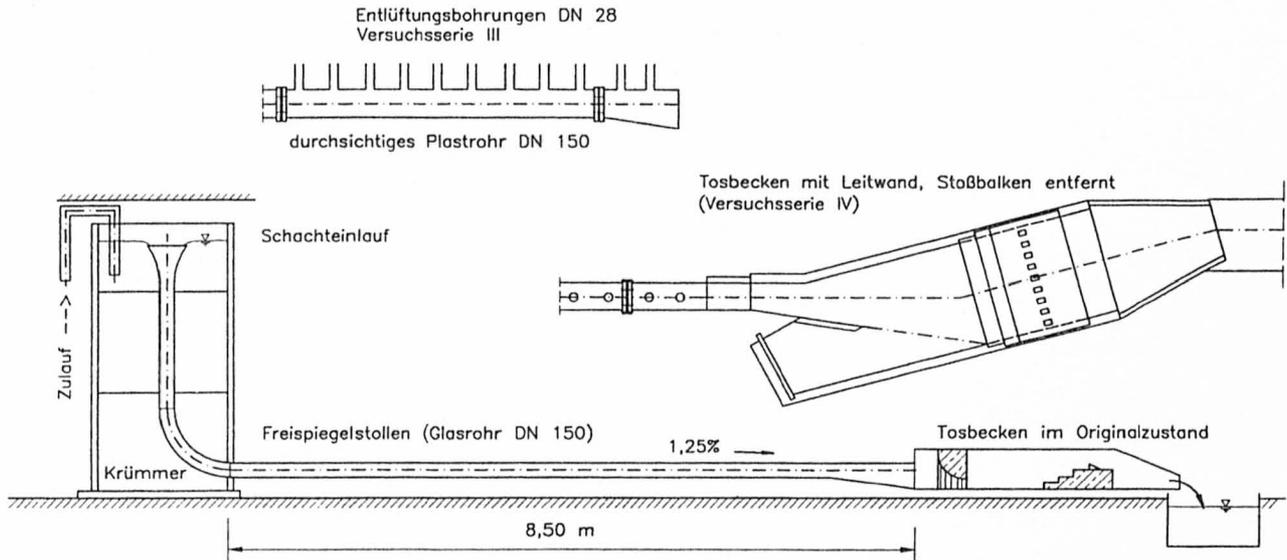


Bild 3: Versuchsstand, Ansicht und Schnitte

Pumpendruckleitung zum Versuchsstand zum Einsatz. Zusätzlich dazu wurde noch eine rechnerische Durchflußermittlung eingesetzt, bei der eine vor Versuchsbeginn exakt ermittelte Überfallcharakteristik für den eingesetzten Schachtüberfall herangezogen wurde.

Die Bestimmung der Überfallhöhe am Schachtüberfall und der Wasserspiegellage im Tosbecken erfolgte üblicherweise mit Hilfe skalierten Standrohre nach dem Prinzip der kommunizierenden Gefäße. Zur Wasserstandsmessung an den einzelnen Stationen des Freispiegelstollens wurden dünne Pegeldrähte mit 5 mm-Einteilung in den Flanschverbindungen eingebaut.

Eine der Hauptparameter zur qualitativen Beurteilung des Fließverhaltens war die Bestimmung der abflußinduzierten Druckpulsationen im Stollen infolge des Zuschlagens des Fließquerschnittes. Dazu wurden zwei piezoresistive Absolutdruckwandler mit angeschlossenem 8-Kanal-Lichtschreiber im Modellstollen positioniert. Ein Geber befand sich im oberen Drittel des Stollens in der Firste, der zweite im Auslaufbereich unter Wasser. Die Versuchsdurchführung umfaßte für alle Serien folgende wesentliche Schritte:

- Füllen des Behälters mit dem eingebauten Schachtüberfall,
- Eichung der Spitzenpegel und Registrierung des Luftdruckes,
- Einstellung des gewünschten Durchflusses,
- Messung der Überfallhöhe, der Wassertiefen im Stollen und im Tosbecken,
- Registrierung des Durchflusses am Meßwehr und der Meßblende,
- Registrierung der Druckpulsationen, Bestimmung der Lage und des Charakters des Wechselsprungs,
- Fotografische Dokumentation, Auswertung und Umrechnung auf Naturmaßstab.

2.3 Versuchsserien im Ist-Zustand und mit konstruktiven Veränderungen

2.3.1 Versuchsserie I – Modell im Ist-Zustand

In der Versuchsserie I wurden das Abflußverhalten an dem unter 2.1 beschriebenen Modell im Zustand vor der Ertüchtigung untersucht. Von besonderer Bedeutung waren dabei die instationären Abfluß- und Druckverhältnisse im Stollen, die Lage des wandernden Wechselsprungs, sowie das durch die Wasserspiegellage im Tosbecken und den Stoßbalken verursachte periodische Zuschlagen des Stollenquerschnittes mit den pulsierenden Luftaustritten. Ein weiteres Kriterium war die Wirksamkeit der Energieumwandlung und die Strömungsverhältnisse im Tosbecken.

Es wurde festgestellt, daß die Lage des Wechselsprungs stark durchflußabhängig ist. Bei kleinen Durchflüssen ($< 8 \text{ m}^3/\text{s}$) verursachte die große Menge der im Schachtüberfall mitgerissenen Luft eine starke Wellenbewegung hinter dem Wechselsprung, wodurch es bereits im Stollen zu zeitweisem Zuschlagen des Stollenquerschnittes kam. Die über dem Wasser befindliche Luft wurde dabei

ballenartig eingeschlossen, mit dem Wasser zum Stollenauslauf transportiert und spannte sich dort unter starken Spritzerscheinungen.

Bei Abflüssen bis etwa $16 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde wegen des erhöhten Tosbeckenwasserstandes und des Rückstaus durch den Stoßbalken der Austrittsquerschnitt voll überstaut, so daß die mitgeführte Luft nicht mehr entweichen konnte. Erst nach Aufbau eines entsprechenden Überdrucks im Stollen erfolgte ein plötzliches explosionsartiges Entweichen der Luft im Stollenscheitel, was wiederum das Wasser im Tosbecken infolge der Impulskräfte in Schwingungen versetzte und so das periodische Zuschlagen des Stollens noch verstärkte. Außerdem waren Vibrationen, Druckstöße und -pulsationen am Versuchsstand zu beobachten. Im Tosbecken begann wegen der schrägen Anströmung die Bildung einer rechtsdrehenden Walze.

Bei Durchflüssen $>18 \text{ m}^3/\text{s}$ bis etwa $45 \text{ m}^3/\text{s}$ stellte sich der Wechselsprung im Bereich des Stollenauslaufs ein. Die Geschwindigkeit und Menge der mitgerissenen Luft war nun so groß, daß trotz der höheren Tosbeckenbelastung und der stärkeren Walzenbildung ständig ein entsprechender Austrittsquerschnitt im Stollenscheitel freigeblasen wurde durch den die Luft unter heftigem Mitreißen von Wasserpartikeln entweichen konnte.

Die im Modell beobachteten hydraulisch-pneumatischen Effekte zeigten dabei in allen Durchflußbereichen gute Übereinstimmung mit den in der Realität dokumentierten Erscheinungen, lediglich das an der Talsperre beobachtete Entweichen der aufgestauten Luft über den Fallschacht entgegen der Fließrichtung konnte nicht festgestellt werden.

Die hier gewonnenen Ergebnisse dienen zur Beurteilung der beabsichtigten Verbesserungen des hydraulischen Verhaltens der Hochwasserentlastungsanlage in den weiteren Modellversuchen.

2.3.2 Versuchsserie III – Entlüftungsbohrungen im Stollenscheitel

Ziel dieser Versuchsserie war es, eine auch in der Natur realisierbare Möglichkeit zu testen, durch Schaffung zusätzlicher Querschnitte zur Luftabführung die Funktionstüchtigkeit der Hochwasserentlastungsanlage zu verbessern.

Am Modell wurden dazu im oberen Rohrscheitel in den letzten 2,2 m vor der Ausmündung in das Tosbecken elf Bohrungen (Durchmesser 26 mm) jeweils mit einem aufgesetzten PVC-Rohr von 150 mm Länge zur Bündelung des Luftstromes und zur Nachbildung der Entlüftungsbohrungen im Fels angebracht. Das Vorbecken zwischen Stollenmundloch und Stoßbalken wurde ebenfalls abgedeckt und mit einer Entlüftungsbohrung versehen.

Mit Hilfe eines speziell geeichten Mikroflügels konnte so, vorausgesetzt es erfolgte bis zum Stoßbalken eine Entmischung des Wasser-Luft-Gemisches, die gesamte mitgeführte Luftmenge in Abhängigkeit vom Durchfluß bestimmt werden. Durch wahlweises Verschließen der Öffnungen waren Variationen in

der Anordnung und Anzahl der Entlüftungsbohrungen möglich. Zusätzlich zu dem unter 2.2 beschriebenen Meßprogramm erfolgte bei dieser Versuchsserie mit Hilfe eines Meßflügels eine Ermittlung des Belüftungsgrades β für ausgewählte Modelldurchflüsse.

Die Anordnung dieser Entlüftungsbohrungen hat sich zur Ableitung der mitgeführten Luft sehr gut bewährt. So wurden die Druckpulsationen und die Spritzerscheinungen nahezu beseitigt und die Strömungsverhältnisse im Stollen und im Austrittsquerschnitt deutlich stabilisiert. Jedoch war zu beobachten, daß sich der Wechselsprung durch die Ableitung der Luft eher ausbildete, was aufgrund der geringeren Austrittsgeschwindigkeit in das Tosbecken zu höheren Wasserständen im Vorbecken und verstärkten Rückstau am Stoßbalken sowie zum Überstau des Stollenauslaufs führte.

2.3.3 Versuchsserie IV – Entfernung des Stoßbalkens und Anordnung einer Leitwand im Tosbecken

Ausgehend von den in der vorangegangenen Versuchsserie gewonnenen Erkenntnissen sind hier konstruktive Veränderungen im Tosbecken modelliert und in ihrer Wirkung insbesondere auf das Abflußverhalten im Vor- und Tosbecken hin untersucht worden. So wurde der Stoßbalken komplett entfernt und als Verlängerung der rechten Vorbeckenbegrenzung eine 300 mm lange Leitwand im Modell eingesetzt. Die Anordnung der Entlüftungsbohrungen entsprach der in der Versuchsserie III. Durch die Beseitigung des Stoßbalkens konnten die Rückstauerscheinungen im Vorbecken in allen Durchflußbereichen beseitigt werden. Ab etwa $14 \text{ l/s} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ tritt der Wechselsprung aus dem Stollen in das Tosbecken und bleibt dort bis zum maximal untersuchten Durchfluß nahezu lagestabil, so daß im Stollen nun durchgängig schießender Abfluß zu beobachten war.

Bei geschlossenen Entlüftungsbohrungen traten wegen des geringen freien Luftaustrittsquerschnittes auch bei entferntem Stoßbalken Spritzerscheinungen am Stollenauslauf auf. Bei geöffneten Bohrungen waren diese Erscheinungen nicht mehr festzustellen. Die aus den Bohrungen austretende Luftmenge war insgesamt jedoch geringer, da durch den nunmehr beseitigten Rückstau auch in der Stollenfirste ständig ein Querschnitt für den Austritt der Luft vorhanden war.

Die in dieser Versuchsserie zusätzlich im Tosbecken eingebaute Leitwand diente dazu, die in den vorangegangenen Versuchen ständig beobachtete Ausbildung einer rechtsdrehenden Walze zu mindern bzw. zu verhindern, da diese den freien Austritt aus dem Stollen behinderte und den Rückstau begünstigte.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, daß auch bei entferntem Stoßbalken die Energieumwandlung im Tosbecken bei allen Durchflüssen sicher gewährleistet war. Dabei verbesserte die Leitwand die gleichmäßige Anströ-

mung der Endschwelle sowie des gesamten Tosbeckens. Die Luftabführung war mit Hilfe der Entlüftungsbohrungen sicher gewährleistet. Die Strömungsverhältnisse im Stollen waren stationär und gleichförmig ohne Druckpulsationen. Wegen dieser guten Versuchsergebnisse wurden diese konstruktiven Veränderungen dem Auftraggeber zur Ertüchtigung der Hochwasserentlastungsanlage der Talsperre Ohra in einem ausführlichen Gutachten [2] vorgeschlagen und kamen mit Ausnahme der Leitwand auch zur Ausführung.

2.3.4 Versuchsserien II und V bis VIII

In weiteren fünf Versuchsreihen wurden konstruktive Veränderungen am Schachteinlauf, Tosbecken, Fallschachtkrümmer und im Freispiegelstollen untersucht. Im einzelnen waren das:

- Versuchsserie II: halbkreisförmiges Schützenmodell auf der unterwasserseitigen Kante des Schachtüberfalls
- Versuchsserie V: Entfernen der Zahnschwelle im Tosbecken und Einbau einer Mittelwasserrinne, Modellierung eines Grundablasses,
- Versuchsserie VI: Entfernen der Zahnschwelle und der oberen Endschwelle im Tosbecken, Modellierung eines Grundablasses,
- Versuchsserie VII: Anordnung eines senkrechten Entlüftungsschachtes DN 100 = 2 m hinter dem Fallschachtkrümmer,
- Versuchsserie VIII: Entlüftungsrohr DN 30 = 0,6 m in der Stollenfirste.

Da diese Serien jedoch entweder keine signifikanten Verbesserungen des Luftabführvermögens erbrachten oder aber sich die Energieumwandlung im Tosbecken wesentlich verschlechterte, soll hier nicht näher auf die Versuchsergebnisse eingegangen werden. Hierzu wird auf [2] und [3] verwiesen.

3 Baumaßnahmen im Rahmen der Ertüchtigung der Hochwasserentlastungsanlage

Nach Auswertung des Gutachtens wurden auf der Grundlage der Erkenntnisse speziell aus der Versuchsserie III vom Talsperrenbetreiber bautechnische Planungen zum Auffahren des vorgesehenen Entlüftungstollens und zum Abriß des Stoßbalkens beauftragt und durch die zuständigen Aufsichtsbehörden geprüft.

Im Vorfeld erfolgten umfangreiche Untersuchungen zur Standfestigkeit des Gebirges und zum vorgesehenen Vortrieb durch Sprengauffahrung [5]. Beispielhaft seien hier genannt:

- geomechanische Stellungnahme ,
- Konzept zur meßtechnischen Überwachung des Entlüftungstollens,

- geophysikalische Untersuchungen zur Zustandsbeurteilung des Betonausbaus im Hochwasserentlastungsstollen mittels Bohrlochseismik,
- geophysikalische Messungen im Rahmen einer Probesprengung zur Bestimmung geodynamischer Parameter wie Longitudinalwellengeschwindigkeit, Schwinggeschwindigkeit und -frequenz,
- Erfassung des Beanspruchungszustandes des Betonausbaus des Hochwasserentlastungsstollens im Ist-Zustand und nach der Ertüchtigung (Spannungs-Deformations-Analyse).

Der an der Talsperre 1991 zur Ausführung gekommene Entlüftungsstollen verläuft ca. 3 m über der Firste des Hochwasserentlastungsstollens. Er weist eine Länge von 43 m und ein Gefälle von 0,5 % auf. Das lichte, durch Handausbruch, später durch Sprengen aufgefahrene Ausbruchprofil betrug etwa 1,8 m x 2,25 m.

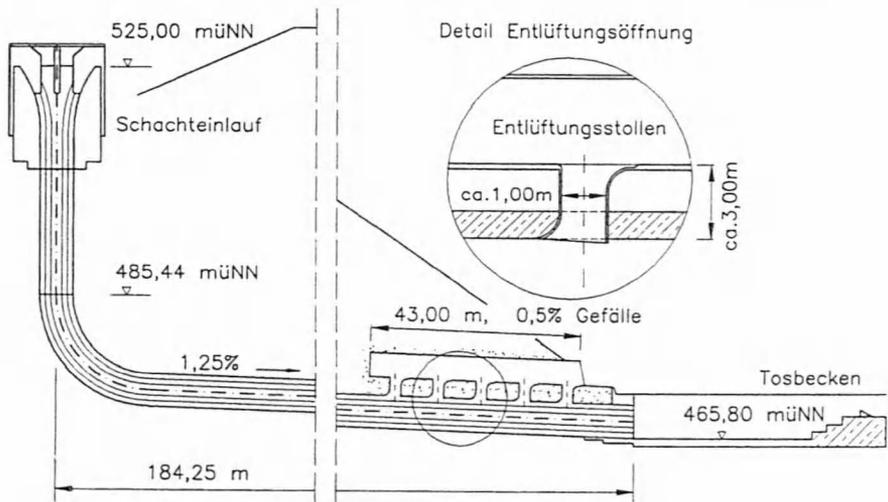


Bild 4 Längsschnitt durch die Hochwasserentlastungsanlage nach der Sanierung

Der Ausbau erfolgte durch Spritzbetonsicherung mit Mattenbewehrung bzw. Stahlbogen. Von der Sohle des Entlüftungsstollens aus wurden fünf Entlüftungsöffnungen (Ausbruchquerschnitt 0,9 m x 1,1 m) im Abstand von ca. 8 m bis in die Firste des Hochwasserentlastungsstollens abgeteuft, mit einer Betonauskleidung ausgebaut und mit Gitterrosten abgedeckt. Zur Verbesserung der Luftströmung wurden alle Kanten angeschrägt. Der Luftaustritt bzw. der Zugang zum Stollen erfolgt über ein mit einer Gittertür versehenes Eingangsbauwerk aus Naturstein im Hanganschnitt.

Weiterhin wurde der Stoßbalken wie vorgesehen vollständig abgebrochen.

Auf die Errichtung der vorgeschlagenen Leitwand im Tosbecken und die Abdeckung des Vorbeckens ist bisher verzichtet worden.

Die hier beschriebenen Ertüchtigungsmaßnahmen haben sich zwischenzeitlich beim Aprilhochwasser 1994, bei dem die Hochwasserentlastungsanlage etwa $1 \text{ m}^3/\text{s}$ abführte, sehr gut bewährt. Nach Beobachtungen des Staupersonals treten am Tosbecken keinerlei Spritzerscheinungen mehr auf. Der Luftaustritt am Mundloch des Entlüftungsstollens ist bei allen Durchflüssen gleichmäßig und ohne Druckpulsationen. Die Energieumwandlung im Tosbecken ist einwandfrei.

4 Zusammenfassung

Die hier beschriebenen Untersuchungen und Baumaßnahmen zeigen deutlich, daß es möglich ist, durch fachlich fundierte hydraulische Modellversuche und deren kritische Bewertung im Hinblick auf die beabsichtigte Wirksamkeit sowie ihre technische Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit auch Möglichkeiten zur Lösung von Problemen komplexer instationärer Zwei-Phasen-Strömungsvorgänge zu finden. Besonders hervorzuheben ist hierbei, daß nur durch die geschlossene und vollständige modelltechnische Nachbildung und Betrachtung der Hochwasserentlastungsanlage das Problem des Lufteinzuges und des Verhaltens von Wasser-Luft-Gemischen in Schachtüberfallanlagen unter Beachtung physikalischer Grenzen reproduzierbar ist.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Autorenkollegium: Talsperren in Thüringen, Thüringer Talsperrenverwaltung 1993
- [2] Martin, H.; Aigner, D.: Modellversuche zur Hochwasserentlastungsanlage der Talsperre Ohra – Gutachterliche Stellungnahme, TU Dresden Sektion Wasserwesen 1988 (unveröffentlicht)
- [3] Mehlhorn, Q.: Modellversuche zur Hochwasserentlastung der TS Ohra I - Belegarbeit zum Ingenieurpraktikum, TU Dresden Sektion Wasserwesen 1988 (unveröffentlicht)
- [4] Peters, J.: „Schadensvorbeugung, dargestellt an drei in Betrieb befindlichen Trinkwassertalsperren in Thüringen“, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Sonderdruck, TU Graz, September 1994
- [5] Thüringer Talsperrenverwaltung: Verschiedene Gutachten, Stellungnahmen, Projekte und Schriftverkehr zum Bauvorhaben Entlüftungsstollen, Tambach-Dietharz/Erfurt 1989-92 (unveröffentlicht)

Dipl.-Ing. Quent Mehlhorn
Thüringer Talsperrenverwaltung
Talsperrenmeisterei Zeulenroda
Flur Leize 2
07937 Zeulenroda