

Untergrundabdichtung der Talsperre Leibis/Lichte

Von Markus Kühnel
und Bernd Aberle

1 Allgemeine Angaben zum Projekt

In Thüringen wurde im Auftrag der Thüringer Fernwasserversorgung von 2000 bis 2006 die zweithöchste Talsperre Deutschlands gebaut. Der Standort der Trinkwassertalsperre befindet sich im Landkreis Saalfeld-Rudolstadt im Thüringer Schiefergebirge ca. 600 m südlich der Ortschaft Unterweißbach. Im Februar 2005 wurde mit dem Probestau begonnen. Die erste Verharrungsphase wurde im Sommer 2005 erfolgreich abgeschlossen. Mit der Fertigstellung der Talsperre wird ein Rohwassergewinnungssystem komplettiert, das zur Versorgung von rund 350 000 Einwohnern Ostthüringens mit hochwertigem Trinkwasser dient.

Die wichtigsten Kenndaten der Talsperre Leibis/Lichte, einer Gewichtsstaumauer aus Beton mit gerader Achse, sind in **Bild 1** aufgeführt.

2 Geologische Verhältnisse

Der Standort der Talsperre befindet sich regionalgeologisch auf der SE-Flanke des Schwarzbürger Antiklinoriums, der nordwestlichsten Struktureinheit des Ostthüringisch-Vogtländischen Schiefergebirges.

Der Untergrund des Talsperrenbeckens besteht aus ordovizischen terrigenen, klastischen Sedimenten (Ton-, Schluff- und Sandsteinen), die in der altpaläozoischen kaledonischen Ära in einem relativ flachen Randmeer sedimentierten. Im Bereich der Sperrstelle steht ausschließlich die gleich-

Die Talsperre Leibis/Lichte ist eine Gewichtsstaumauer mit einer Höhe über Gründung von 102,5 m. Sie dient zur Versorgung von etwa 350 000 Einwohnern der Region Ostthüringen mit hochwertigem Trinkwasser. Der Untergrund am Talsperrenstandort besteht aus ordovizischen Phycodenschiefern. Überwiegend zeigen die Phycodenschiefer eine geringe Durchlässigkeit. Um eine Unterströmung zu verhindern und die Sohlenwasserdrücke zu reduzieren, kam ein zweireihiger Dichtungsschleier mit Tiefen von 5 bis 45 m zur Ausführung. Die Ergebnisse der Injektionsarbeiten werden in diesem Artikel vorgestellt

mäßige Abfolge der Graublauen Phycodenschiefer (oPS) an. Im Anstehenden ist diese Abfolge durch schwach epimetamorph überprägte tonige Siltsteine, siltige Tonsteine und Feinsandsteine gekennzeichnet, die infolge der Druckeinwirkung durch den Gebirgsbildungsprozess eine dichtständige Schieferung aufweisen [1].

Der Gründungsbereich der Sperrstelle wird in die Homogenbereiche linker Hang (Feld 1 bis 16), Talau (Feld 17 bis 21) und rechter Hang (Feld 22 bis 35) unterteilt. Die Schichtung stellt dabei das primäre Gefügeelement dar. Die regionalgeologische Lage der Sperrstelle auf der SE-Flanke des Schwarzbürger Sattels bedingt ein generelles Schichteinfallen in E- bis NE-Richtung (**Bild 2**). Der Phycodenschiefer im Bereich der Sperrstelle stellt ein allgemein nur gering durchlässiges Gebirge dar, das in unregelmäßigen Abständen von Trennflächen unterschiedlicher Raumstellung (vorwiegend ss- und ac-Flächen)

durchtrennt wird. Über diese Trennflächen ist eine erhöhte, zum Teil extrem hohe Wasserzirkulation möglich [2].

3 Konzeption der Untergrundabdichtung mittels Schleier

Die Schiefergebirgsverhältnisse stellen im allgemeinen schwierige Injektionsbedingungen dar. Die Lokalität der stark durchlässigen Trennflächen konzentriert sich zwar auf die oberen Gebirgsbereiche und nimmt mit zunehmender Tiefe ab, zeigt aber ansonsten keine Regelmäßigkeit. Folglich war zu erwarten, dass der Untergrund in weiten Bereichen die für Schiefergebirgsverhältnisse typischen, geringen Feststoffaufnahmen zeigt. Mit der Injektionsmaßnahme sollten die unregelmäßig verteilten, stark wasserdurchlässigen Trennflächen abgedichtet und damit eine Reduzierung des Sohlenwasserdruckes und des Sickerwasseranfalls erreicht werden. Zusätzlich wurden Entlastungsbohrungen,

Art der Talsperre:	Trinkwassertalsperre	
Absperrbauwerk:	Gewichtsstaumauer	
Einzugsgebiet:	72 km ²	
Jahresabfluss:	31,5 Mio. m ³	
Gewässer:	Lichte	
Stauvolumen:	39,2 Mio. m ³	
Höhe über Sohle:	102,5 m	
Staufläche:	120 ha	
Kronenlänge:	369 m	
Mauerfußbreite:	80,6 m	
Bauwerksvolumen:	ca. 613.000 m ³	
Baubeginn Mauer:	09/2000	
Bauzeit Injektion:	05/2004 - 08/2005	

Bild 1: Talsperre Leibis/Lichte: Kenndaten und Bild der Staumauer im Bau (Mai 2004)

hängige Steuerung erlaubt. Alle Injektionsparameter wie Druck und Menge wurden kontinuierlich mit einem Log-System erfasst und gespeichert.

Die Injektionsarbeiten erfolgten mit pneumatisch zu spannenden Einfachpackern mit einer Manschettenlänge von 1 000 mm. Die Druckmessung geschah unmittelbar in der Nähe des zu injizierenden Bohrlochs.

Die WD-Versuche erfolgten ebenfalls mit Einfachpackern gleicher Manschettenlänge, die Druckmessung wurde hier innerhalb der Prüfetage durchgeführt. Der Aufzeichnung der WD-Ergebnisse dienten Druck-Mengenschreiber der Fa. Comdrill.

5 Injektionsgut

Verpresst wurde eine Suspension auf Zementbasis. Als Zement wurde DORODUR H 50 des Herstellers Dornburger Zement eingesetzt. Dieser Zement zeichnet sich durch eine hohe Mahlfeinheit (Blaine-Wert $7\,500\text{ cm}^2/\text{g}$) und ein geringes Größtkorn (Siebdurchgang $95\% < 50\mu\text{m}$) bei einer abgestuften Kornverteilung aus. Der Zement ist raumbeständig und weist einen hohen Sulfatwiderstand auf.

Die Suspension wurde mit einem Bentonitzusatz von 0 bis 2% in Abhängigkeit vom jeweiligen W/Z-Wert verpresst. Als Zusatz wurde der Calciumbentonit TIXOTON verwendet. Das Wasser für die Suspensionsherstellung wurde aus der Lichte entnommen, dessen Unbedenklichkeit durch chemische Analysen vor Baubeginn nachgewiesen war.

Die Verpressarbeiten wurden generell mit einem W/Z-Faktor von 1,5 begonnen, in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufnahme wurde der W/Z-Faktor bis 0,8 variiert.

Die Suspensionseigenschaften wurden auf der Baustelle mittels Marshtrichter, Dichtwaage und Absetzzyylinder durch Kontrollmessungen der Bauüberwachung und im Rahmen eines Eigenüberwachungssystems der ausführenden Firmen kontinuierlich überprüft.

6 Injektionsablauf

Zunächst wurde die wasserseitige A-Reihe vorlaufend ausgeführt, wobei in einer 1. Serie im Pilgerschrittverfahren jedes 2. Bohrloch gebohrt und verpresst wurde, in der 2. Serie wurden die dazwischen liegenden Bohrlöcher abgeteufelt und injiziert. Anschließend erfolgten analog auf der

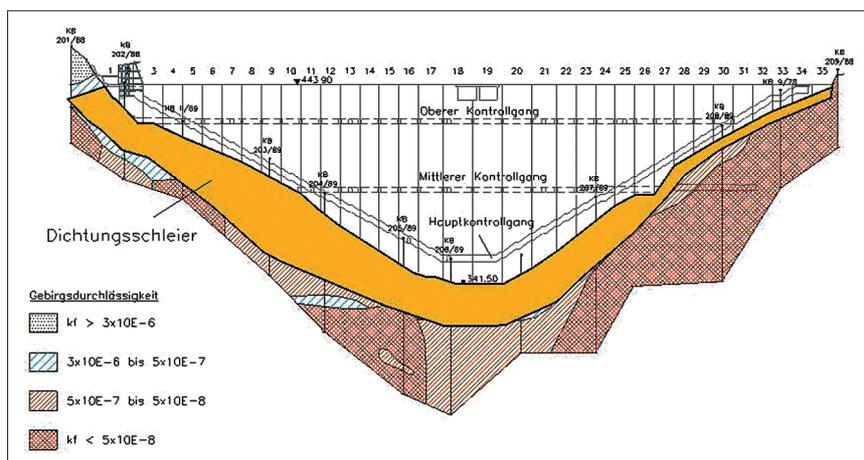


Bild 4: Kontur des Dichtungsschleiers (orange unterlegt)

luftseitigen B-Reihe das Bohren und Injizieren der 3. und 4. Serie. Die Verpresstagen hatten generell eine Länge von 3 m. Verpresst wurde im Regelfall von unten nach oben. Eine Ausnahme bildeten Bohrlöcher, die keine ausreichend Standfestigkeit zeigten oder die aufgrund hoher WD-Werte vorverpresst wurden, um Umläufigkeiten zu verhindern. Hier erfolgte stufenweise die Injektion nach dem Verfahren von oben nach unten mit Vorverpressung und Wiederaufbohren nach einer Wartezeit von mindestens 8 Stunden.

Vor dem Verpressen wurden in jedem Feld auf dem 1. Bohrloch der A-Reihe absteigende WD-Versuche als Einfachstufentests mit einem effektiven Prüfdruck von 1,0 MPa durchgeführt. In den übrigen Bohrlöchern (sowohl A- und B-Reihe) wurden die obersten drei Etagen analog gestestet sowie jeweils ein WD-Test auf der planmäßigen Endteufe vorgenommen. Die Länge der Prüfetagen betrug generell 3,0 m. Wurde auf der untersten Prüfetage ein WD-Wert von 3 Lugeon ($31/\text{min} \times \text{m}$ bei 1,0 MPa) überschritten, wurde die ent-

sprechende Bohrung 5 m tiefer gebohrt und verpresst (8,3%).

Nach Fertigstellung des zweireihigen Dichtungsschleiers wurden mittig zwischen den beiden Reihen Kontrollbohrungen als Kernbohrungen abgeteufelt, um den Verpresserfolg nachzuweisen. In den Kontrollbohrungen wurden in jeder Bohrung absteigend WD-Tests in 3 m langen Prüfetagen als Mehrfachstufentests (Druckstufen 0,3/0,5/0,7/1,0/0,7/0,5/0,3 MPa) durchgeführt. Die Bohrkern der Kontrollbohrungen wurden geologisch aufgenommen und fotografiert. Der Grenzwert für eine erfolgreiche Verpressung wurde mit 3 Lugeon definiert. Alle Kontrollbohrungen wurden analog zu der A- und B-Reihe verpresst.

7 Ergebnisse

7.1 Primäre Gebirgsdurchlässigkeit

Die primäre Gebirgsdurchlässigkeit des Gebirges im Bereich des Dichtungsschleiers variiert sehr stark. Der Schleier zeigt

Grouting of the Leibis/Lichte Dam

by Markus Kühnel and Bernd Aberle

The new Leibis/Lichte dam is 370 m long and 102,5 m high. With the completion of the dam more than 350 000 inhabitants of the Eastern Regions of Thuringia will be supplied with high quality drinking water. The foundation rocks at the dam site consist of exclusively greyish-blue argillaceous schist, silt schist and cleaved fine sandstones from the Ordovician period. The main joint system consists of three different orientated joints. Geomechanically of main interest is the shallow dipping bedding, especially in the left abutment because of its downhill dip. Predominantly the argillaceous rock shows a low permeability. The water conductivity is linked to faults and few large joints. In order to prevent seepage and to reduce the uplift pressure, a grout curtain in two rows was arranged with a depth of 5 to 45 metres. The results of the grout curtain works are presented in the following article.

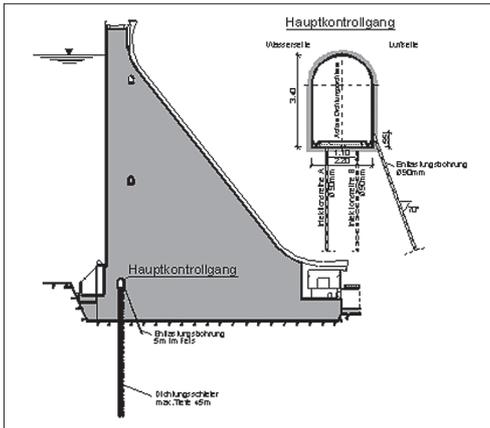


Bild 5: Mauerquerschnitt im Feld 18 mit Anordnung der Bohrlochreihen im Hauptkontrollgang

das für das Thüringer Schiefergebirge typische Erscheinungsbild mit schwach durchlässigen bis quasi dichten Gebirgsabschnitten (Bild 6), die von einigen stärker durchlässigen Trennflächen durchzogen sind.

In der Regel ist eine Abnahme der Durchlässigkeit mit zunehmender Tiefe festzustellen. In den Bereichen linker Hang und Talau wurden im gründungsnahen Bereich (Stufen 1-3) WD-Werte (Mittelwerte) bis 12l/min x m bei 1,0MPa (Lugeon) ermittelt, die zur Endteufe eine deutliche Abnahme auf Werte unter 3 Lugeon zeigen. Die ermittelten Maxima waren mit 39,2 Lugeon verhältnismäßig hoch. Der rechte Hang ist dagegen weniger durchlässig, die WD-Werte liegen hier im Mittel unter 5 Lugeon (max. 16,7 Lugeon). Die

Teufenabhängigkeit ist hier nicht besonders markant ausgeprägt.

7.2 Feststoffaufnahme

Die Feststoffaufnahme war im Allgemeinen gering. Dennoch lässt sich aus den mittleren Aufnahmen der einzelnen Verpressphasen eine Abminderung der Feststoffaufnahme von der 1. Serie bis zur 4. Serie erkennen. Die Tabelle 1 zeigt die mittlere Feststoffaufnahme der einzelnen Verpressphasen.

Die höchsten Feststoffaufnahmen wurden danach erwartungsgemäß am linken Hang erreicht. Über die einzelnen Verpressphasen von der 1. zur 4. Serie zeigt sich eine deutliche Abnahme der Feststoffaufnahmen, was auf einen erfolgreichen Verpressverlauf hinweist. Die höchsten mittleren Aufnahmemengen wurden am linken Hang mit 42,5 kg/m in der 1. Serie erzielt. Bereits zur 2. Serie ist eine deutliche Abnahme auf 26,6 kg/m zu verzeichnen gewesen, die sich in der B-Reihe (3. und 4. Serie) weiter fortsetzt. Die Ausbreitung des Injektionsgutes ist hier vorwiegend auf weitaushaltenden Schichtflächen zu beobachten. An den Bohrkernen der Kontrollbohrungen wurden auf diesen Schichtflächen Zementsteinfüllungen bis 2 cm Mächtigkeit festgestellt. Am linken Hang wurden im Feld 8 mit 669 kg/m die höchsten Feststoffaufnahmen pro Injektionsstufe verzeichnet.

In den Bereichen Talau und rechter Hang sind die Feststoffaufnahmen we-

sentlich niedriger als am linken Hang. Die mittlere Aufnahme liegt in der 1. Serie (15,0 bzw. 13,2 kg/m) in der Größenordnung, wie sie am linken Hang in der B-Reihe erreicht wurde. Demzufolge ist eine Abnahme der Feststoffaufnahmen über die einzelnen Verpressphasen nur undeutlich bzw. nicht erkennbar. Im Bereich Talau zeigt sich zwischen der 1. und der 2. Serie eine Verringerung von 15,0 kg/m auf 9,8 kg/m, was auch hier auf einen Verpresserfolg schließen lässt. Die weitere Abnahme in den Verpressphasen der B-Reihe ist sehr gering. Dieses Ergebnis überrascht nicht, da erfahrungsgemäß bei derartig niedrigen Aufnahmen eine weitere Abminderung durch Injektionen mit herkömmlichem Zement nicht erreichbar ist.

Das Bild am rechten Hang ist deutlich uneinheitlicher. Eine Abminderung zwischen der A- und B-Reihe ist auch hier auf einem niedrigen Niveau zu erkennen. Über die einzelnen Verpressphasen betrachtet ist eine Verringerung der Aufnahmen nicht eindeutig vorhanden.

Aufgrund der in großen Bereichen niedrigen primären Gebirgsdurchlässigkeiten in den Bereichen Talau und rechter Hang ist davon auszugehen, dass das Injektionsgut keine großflächige Ausbreitung erreicht hat. Folglich ist die Abminderung zwischen den einzelnen Verpressphasen nur undeutlich bis gar nicht ausgeprägt. Mit der Injektion wurden hier überwiegend lokal begrenzte Klüfte abgedichtet. Die maximalen Feststoffaufnahmen liegen hier deutlich niedriger als am linken Hang, im Feld 19 (Talau) bei 365 kg/m und im Feld 27 (rechter Hang) bei 214 kg/m. Im Regelfall waren am rechten Hang die maximalen Aufnahmen je Stufe unter 75 kg/m.

Insgesamt wurden 187 t Zement und 3,8 t Bentonit in das Gebirge eingespreist.

Tabelle 1: Nettofeststoffaufnahme in kg/m in Abhängigkeit von der Lokalität

Reihe	Verpressphase	linker Hang	Talau	rechter Hang	Gesamt	anteilig
A	1. Serie	42,5	15,0	13,2	30,4	100 %
	2. Serie	26,6	9,8	15,2	20,6	67,8 %
B	3. Serie	16,8	8,8	7,3	12,8	42,1 %
	4. Serie	13,0	8,4	11,2	11,8	38,8 %

7.3 Durchlässigkeit des injizierten Gebirges

Eine abschließende Beurteilung des Abdichtungserfolges durch die Injektionsarbeiten kann immer erst mit der Inbetriebnahme des Absperrbauwerks getroffen werden. Nichts desto trotz ist eine Überprüfung des Injektionserfolges nach Herstellung eines Dichtungsschleiers unbedingt erforderlich, um bei noch vorhandenen Bereichen erhöhter Durchlässigkeit ggf. Nachinjektionen über zusätzliche Bohrlöcher durchführen zu können.

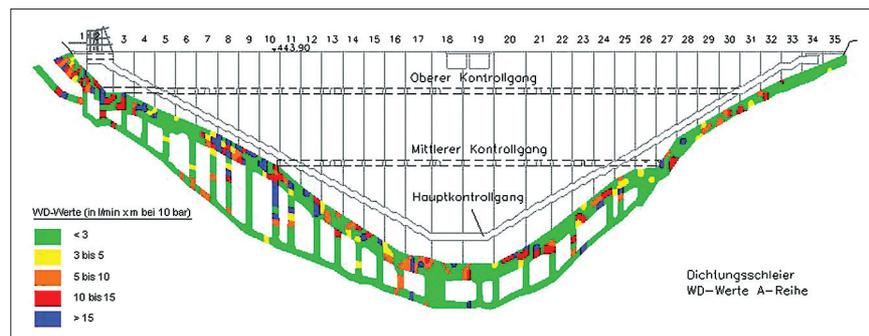


Bild 6: WD-Werte in der A-Reihe des Dichtungsschleiers

Die WD-Tests in den Kontrollbohrungen (Abschnitt 6) haben ein sehr gutes Injektionsergebnis dokumentiert. Der Mittelwert über alle Bohrlöcher liegt bei 1,1 Lugeon, also deutlich unterhalb der geforderten 3,0 Lugeon. In 89,9% der Prüftagen wurde der Grenzwert eingehalten, wobei in 72,1% der Kontroll-WD's ein Wert von kleiner 1,0 Lugeon erzielt wurde. Bei den verbleibenden 10,1% wurde der Grenzwert in einzelnen Stufen geringfügig überschritten (in der Regel kleiner 5,1 Lugeon). Nach der Injektion unterscheidet sich der WD-Wert im Gründungsbereich, d.h. auf den ersten drei Stufen (bis 8 m unter Gründungsfuge), nicht mehr von den tieferen Dichtungsschleierabschnitten im Gegensatz zu den Ergebnissen der primären Gebirgsdurchlässigkeit (Abschnitt 7.1).

8 Sickerwassermenge und Sohlenwasserdruck während der Probetauphase

Auf die Wirksamkeit des Dichtungsschleiers kann über den Sickerwasseranfall aus den Entlastungsbohrungen geschlossen werden. Die gemessene Gesamtsickerwassermenge aus den Entlastungsbohrungen während der 1. Verharrungsphase (Beckenpegel ca. 42 m) betrug weniger als 0,25 l/s, was für einen guten Abdichtungserfolg spricht.

Die Herstellung des Dichtungsschleiers in Verbindung mit den Entlastungsbohrungen ist als konstruktive Maßnahme zur Verringerung des Sohlenwasserdruckes zu sehen. In den Mauerfeldern 4 bis 32 wurden zur Messung des Sohlenwasserdruckes Messstellen installiert, die eine lückenlose und feldweise Erfassung des anstehenden Sohlenwasserdruckes in Profilen von der Wasser- zur Luftseite ermöglichen. Im Durchschnitt zeigen die Messergebnisse nach der 1. Verharrungs-

phase eine auf den Beckenpegel bezogene Reduzierung des Druckpotenzials um 80%. In den Feldern 18 (Bild 7) und 19 mit der größten Überstauhöhe über der Gründungssohle ist hinter dem Dichtungsschleier (1. Reihe Messstellen) eine Abminderung des Sohlenwasserdruckes auf weniger als 30% festzustellen [3].

9 Schlussfolgerungen

Zur Reduzierung des Sohlenwasserdruckes und Minimierung des Sickerwasseranfalls im Kontrollgang war die Herstellung eines Dichtungsschleiers notwendig. Die speziellen geologischen Verhältnisse des Untergrundes im Bereich der Sperrstelle erforderten hierfür eine hohe Anzahl an Bohrungen bei größtenteils relativ niedrigen Gebirgsdurchlässigkeiten und damit verbunden geringen Feststoffaufnahmen. Der Dichtungsschleier berücksichtigt die Unregelmäßigkeit der teilweise stark wasserwegesamen Trennflächen mit der erforderlichen Sicherheit unter wirtschaftlichen Aspekten. Die Auswertung der WD-Testergebnisse und Feststoffaufnahmen zeigen einen erfolgreichen Verlauf der Injektionsarbeiten an der Talsperre Leibis/Lichte. Die Wirksamkeit der konstruktiven Maßnahmen zur Abminderung des Sohlenwasserdruckes wurde durch die ersten Ergebnisse der messtechnischen Bauwerksüberwachung während des Probetaus bestätigt. Der weitere Verlauf der Messergebnisse (voraussichtliches Ende Probetau 2008) wird vertieften Aufschluss über die volle Wirksamkeit des Dichtungsschleiers, z.B. auch an den oberen Talhängen, geben.

Literatur

- [1] ARGE HPI/LI: TS Leibis/Lichte, EG-Planung, Fachbericht B1 – Geotechnik, Teil 1, 1995 (unveröffentlicht).

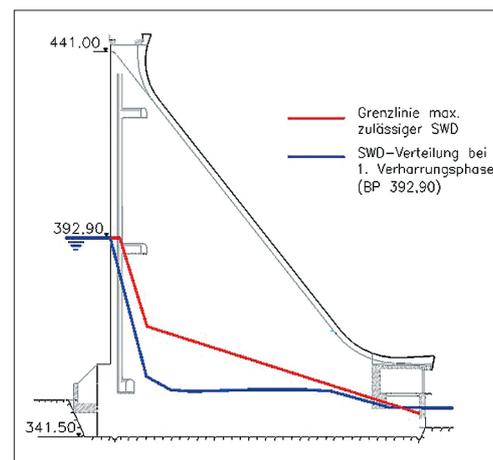


Bild 7: SWD-Druckverteilung im Mauerfeld 18 nach der 1. Verharrungsphase (Probetau) nach [3], Grenzlinie nach 3-D-FEM-Berechnung angepasst auf Beckenpegel bei 1. Verharrungsphase

- [2] Meister, J.; Pfarre, I.; Peters, J.: Großflächiger Erkundungsschurf zur Beurteilung der Gründungsverhältnisse einer Gewichtstaumauer. In: Felsbau 15 (1997), Nr. 1, S. 32 – 37.
- [3] Mehl, J.: Bericht zur messtechnischen Überwachung des Absperrbauwerks der Talsperre Leibis/Lichte. Berichtszeitraum: Beginn Probetau bis Ende 1. Verharrungsphase, 393,00 mHN. Thüringer Fernwasserversorgung, Betrieb Ost – Talsperren/Netze, Meisterbereich Unterweißbach, 2005 (unveröffentlicht).

Anschrift der Verfasser:
Dipl.-Geol. Markus Kühnel
 Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH
 Rießnerstr. 18
 99427 Weimar
 markus.kuehnel@hydroprojekt.de
Dipl.-Ing. Bernd Aberle
 Einzinger Landstraße 147
 06542 Niederröblingen
 b.aberle@bst-mansfeld.de

