

# Ergebnisse eines Färbeversuches in tonig-sandigen Gesteinen an der Biggetalsperre (Sauerland)

Von K. H. HEITFELD und E. TÄTZLER (Olpe)

## Einleitung

Während Färbeversuche zur Feststellung hydraulischer Verbindungen in kalkigen Gesteinen im Sauerland schon häufiger durchgeführt wurden, liegen entsprechende Erfahrungen in tonig-sandigen Gesteinen (sandige Tonschiefer, Grauwackenschiefer) bisher praktisch nicht vor. Dies ist vor allem dadurch bedingt, daß die Fließgeschwindigkeit in derartigen Gesteinen relativ gering ist, so daß Impfstelle und Austrittsstelle sehr eng beieinander liegen müssen, um zu eindeutigen Ergebnissen zu gelangen. Außerdem müssen verhältnismäßig klare Vorstellungen über die möglichen Fließwege bestehen, d. h. es müssen entsprechende Aufschlüsse vorhanden sein. Dies ist im allgemeinen nur im Bereich größerer, tief in den Untergrund eingreifender Bauvorhaben der Fall.

Im Rahmen hydrogeologischer Untersuchungen für die im Bau befindliche große Biggetalsperre im südlichen Sauerland ergab sich die Notwendigkeit, die Durchlässigkeit einer Schichtenfolge aus sandigem Tonschiefer, Tonschiefer mit dünnen Sandlagen und Sandflaserschiefer zu überprüfen. Dies geschieht normalerweise mittels Wasserdrukprüfungen in Bohrlöchern, bei denen zwar keine Durchlässigkeitswerte ermittelt werden, deren Ergebnisse jedoch quantitative Vergleichswerte liefern. Unter bestimmten Voraussetzungen, z. B. bei annähernd gleichartigen hydrogeologischen Gegebenheiten, ist auch die rechnerische Ermittlung eines mittleren  $k_f$ -Wertes eines bestimmten Bereiches auf Grund der Ergebnisse derartiger Messungen möglich.

Im vorliegenden Fall ging es jedoch um die Überprüfung der Durchlässigkeit des Gebirges im Bereich eines Talhanges in Abhängigkeit von der Raumstellung der auftretenden Diskontinuitätsflächen. Außerdem sollten die speziellen Verhältnisse in der Umgebung einer großen Störungszone geklärt werden. Da dieser Bereich durch zwei übereinanderliegende, in den Hang hineingetriebene Stollen aufgeschlossen

war und außerdem noch in einem weiteren, etwa talparallel verlaufenden Stollen sowie an der Oberfläche Beobachtungsmöglichkeiten bestanden, waren besonders gute Voraussetzungen für eine Überprüfung hydraulischer Verbindungen durch einen Färbeversuch gegeben.

Die Untersuchungsarbeiten wurden im Rahmen der Voruntersuchungen für die Biggetalsperre von der Geologischen Abteilung des Ruhrtalsperrenvereins Essen, deren ehemaliger Leiter K. H. HEITFELD war, durchgeführt.

Dem Ruhrtalsperrenverein Essen, insbesondere Herrn Baudirektor Dr. KOENIG, ist für die Genehmigung zur Veröffentlichung der Untersuchungsergebnisse herzlich zu danken.

## I. Bauliche und geologische Verhältnisse im Untersuchungsbereich

### 1. Bauliche Gegebenheiten

Die Biggetalsperre liegt im südlichen Sauerland, einem Teil des rechtsrheinischen Schiefergebirges, zwischen den Städten Olpe und Attendorn. Sie ist mit einem Stauinhalt von rd. 140 Mill. m<sup>3</sup> die größte Talsperre im Einzugsbereich der Ruhr. Das Absperrbauwerk bildet ein etwa 50 m hoher Steinschüttdamm. Durch eine Bergnase, den sogenannten Schabernack, wird der Damm in zwei Teile, den Bigge- und Ihnedamm, getrennt (Abb. 1). Der Ihnedamm schließt mit seiner Südwestflanke an einen Höhenrücken, den Langenohlberg, an. Im Bereich dieses Höhenrückens bzw. dem Dammauflager wurde der Färbeversuch im Stollen durchgeführt.

Zur Klärung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse wurden an diesem Hang zunächst eine Anzahl Bohrungen abgeteuft. Nachdem sich bei den Wasserabpressungen z. T. eine deutliche Durchlässigkeit ergeben hatte, wurden außerdem zwei Stollen in den Hang hinein vorgetrieben. Diese Stollen dienten der weiteren Gebirgsuntersuchung sowie der Durchführung von Injektionsarbeiten. Die Lage der Stollen ist aus Abb. 2 und 3 zu ersehen. Der obere Kontrollstollen geht vom Eingangsbauwerk aus etwa 120 m in den Berg hinein, während der untere Einpreßstollen mit einer Länge von etwa 75 m von einem ca. 90 m langen Zugangstollen aus ca. 25 m unter dem Kontrollstollen verläuft. Außerdem setzt sich dieser Stollen zur Talaue hin noch etwa 30 m fort.

### 2. Geologische Verhältnisse

Der Untergrund des Ihnedammes und der Südosthang des Langenohlberges werden aus sandig-tonigen Gesteinen der Oberen Finnetropen Schichten des Oberen Mitteldevons aufgebaut. Es handelt sich überwiegend um sandige Tonschiefer mit unterschiedlichem Sandgehalt, sandig-gebänderte Tonschiefer und untergeordnet Grauwacken-

schiefer. Die Schichten streichen mit ca. N 80° E und fallen mit ca. 85° steil nach Norden ein. Die Streichrichtung bildet mit dem Hangverlauf einen Winkel von etwa 50° (s. Abb. 2).

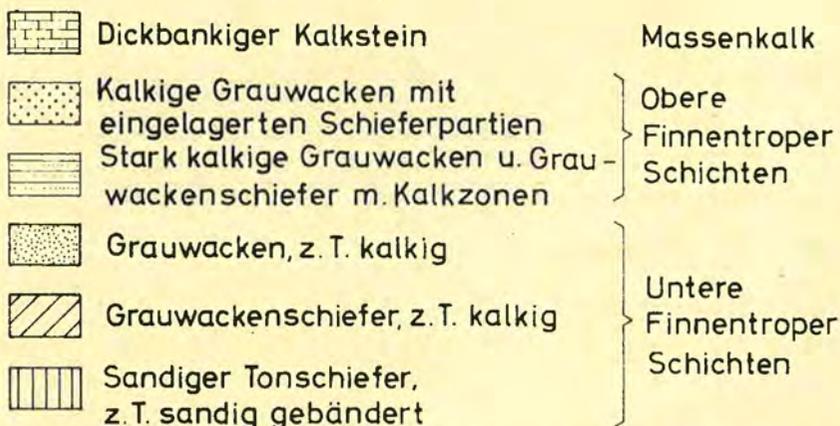
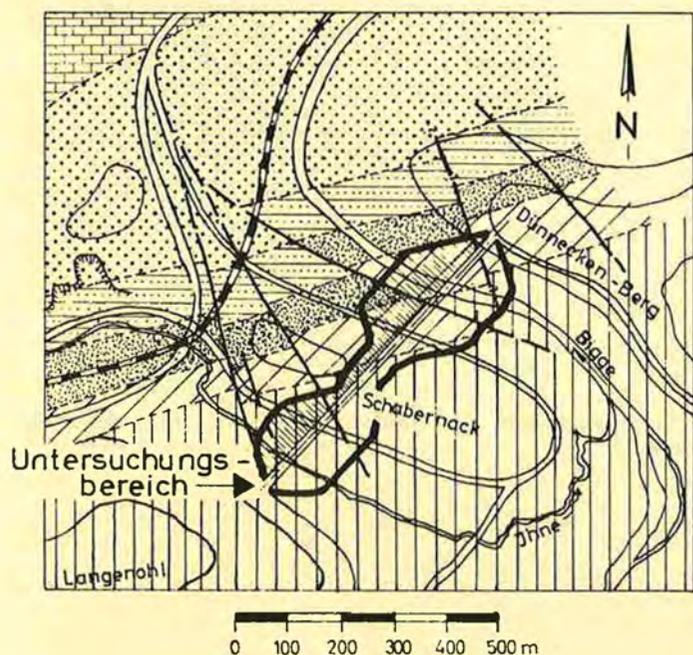


Abb. 1: Geologische Verhältnisse im Dammbereich der Biggetalsperre.

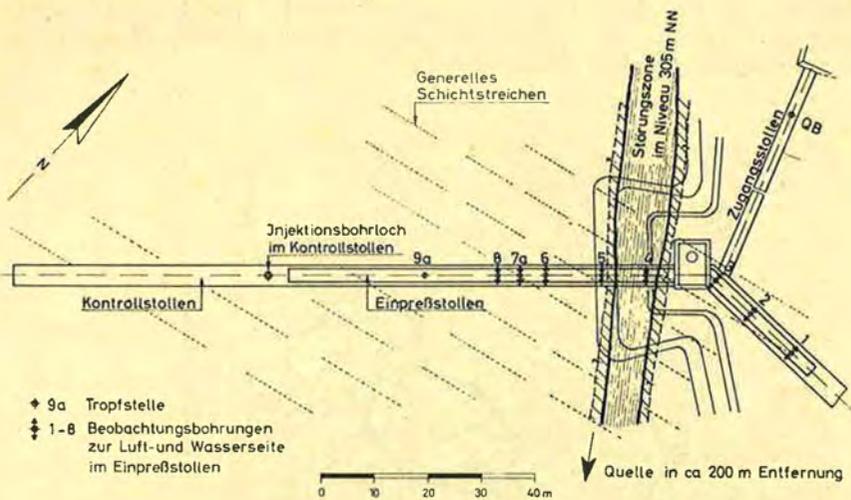


Abb. 2: Biggetalsperre; Lageplan des Stollensystems mit Wasserbeobachtungsstellen.

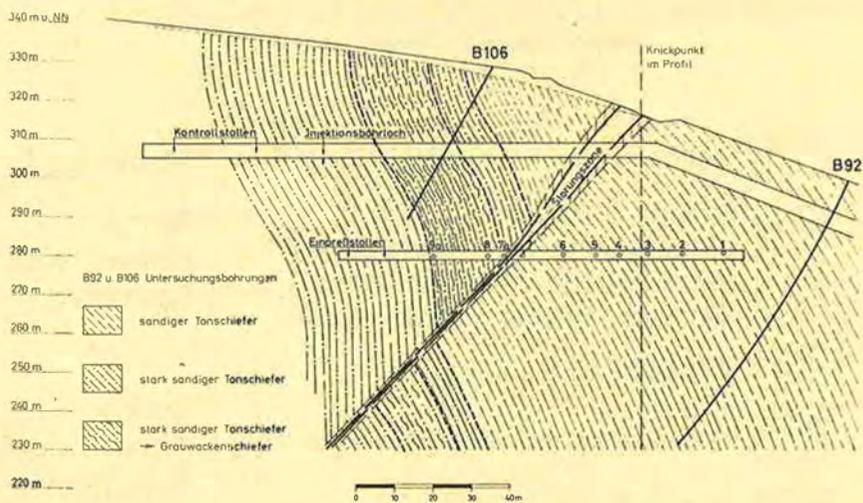


Abb. 3: Geologischer Schnitt durch die Stollen (mit Wasserbeobachtungsstellen) am Langenohlberg.

In nördlicher Richtung folgen auf die sandigen Tonschiefer Grauwackenschiefer und Grauwackensandstein. Diese Horizonte liegen jedoch bereits außerhalb des interessierenden Bereiches.

Als Hauptkluftrichtung tritt die mit etwa  $150\text{--}170^\circ$  streichende Querklüftung auf. Die Klüfte fallen im allgemeinen steil nach Westen und Osten ein. Sie lassen sich im allgemeinen nur wenige Meter verfolgen. Der Kluftabstand liegt, abgesehen von örtlichen Kluftscharungen, zwischen 10 cm und 1,0 m.

Außer der Querkluftrichtung treten untergeordnet im Streichen der Schichten verlaufende Klüfte auf. Daneben wurden in den Stollen flachliegende Klüfte und kleinere Störungen angetroffen, die meist nach Westen einfallen.

Die unregelmäßig wellig im Gestein auftretenden Schieferflächen streichen mit etwa  $N\ 50^\circ$  spitzwinklig zur Schichtung. Größere Bedeutung als Ablösungsflächen haben sie infolge des relativ hohen Sandgehaltes der Schichtenfolge nicht.

Unmittelbar am Eingangsbauwerk des Kontrollstollens im Langenohlberg wurde eine große Störungszone angefahren. Die gesamte Störung hat eine Breite von rd. 10 m und weist in ihrem zentralen Teil völlig zerquetschtes, mylonitisierendes Gestein auf. Die Randbereiche der Störung sind stark zerklüftet. Die Zone streicht mit  $145^\circ$  etwa parallel zum Langenohlhang und fällt mit  $55^\circ$  nach Südwesten, d. h. zum Hang hin, ein.

## II. Hydrogeologische Verhältnisse und Fragestellung

Die im Untersuchungsbereich anstehenden sandig-tonigen Gesteine weisen ein relativ geringes Porenvolumen zwischen 1,5 und 5,5% auf. Die Poren bilden zudem kein zusammenhängendes System, so daß die Gesteinsdurchlässigkeit relativ gering ist. Laboruntersuchungen haben  $k_f$ -Werte zwischen  $10^{-11}$  und  $10^{-12}$  cm/s. ergeben.

Für die Durchlässigkeit des Gebirges spielt also die porositätsbedingte Gesteinsdurchlässigkeit praktisch keine Rolle. Die Gebirgsdurchlässigkeit ist allein von den im Gestein vorkommenden Diskontinuitäten abhängig. Beobachtungen im Stollen wiesen darauf hin, daß die Hauptwasserzirkulation offenbar auf den Schichtflächen stattfindet. Daneben spielen die Klüfte vermutlich eine größere Rolle, während die Schieferungsfugen meist geschlossen bzw. so eng sind, daß das Wasser im allgemeinen durch Oberflächenkräfte gebunden ist.

Von besonderer Wichtigkeit für das Talsperrenprojekt war die Untersuchung der hydrogeologischen Bedeutung der etwa parallel zum Talhang verlaufenden großen Störungszone. Am Hang des Langenohlberges macht sich diese Zone durch Quellaustritte bemerkbar. Nach den Oberflächenaufschlüssen konnte angenommen werden, daß die eigentliche Störungsbahn (Lettenzone) als Stauer wirkt; das Wasser tritt oberhalb der Störungszone aus. Beim Auffahren des Einpreß-

stollens traten in der Umgebung dieser Zone große Wassermengen in den Stollen ein. Es mußte angenommen werden, daß der gelockerte Bereich in der Umgebung eine stärkere Durchlässigkeit aufweist.

Bei den Bohruntersuchungen am Langenohlhang vor dem Vortrieb der Stollen wurden Bohrwasseraustritte in ca. 100 m Entfernung von den jeweiligen Bohrstellen am Übergang zur Talaue beobachtet. Dabei wurde festgestellt, daß die Austrittsstelle etwa im Streichen der in der Bohrung angetroffenen Schichten lagen. Es wurde daher vermutet, daß die Schichten die hauptwasserführenden Elemente im Gebirge darstellen.

Zur weiteren Überprüfung dieser Frage wurde ein Färbeversuch mit Uranin durchgeführt. Dabei wurde der Farbstoff in eine Bohrung injiziert. Bereits nach zwei Stunden konnte in dem ca. 35 m entfernten, etwa im Schichtstreichen gelegenen Kontrollbohrloch Uranin nachgewiesen werden. Dabei konnte eine Auswirkung der großen Störungszone an diesem Hang auf die Durchlässigkeitsverhältnisse nicht nachgewiesen werden. Außerdem war nicht eindeutig zu entscheiden, wie weit die oberflächennahe Auflockerung und Verwitterung die relativ hohe Durchlässigkeit von  $k_f \approx 2 \cdot 10^{-2}$  cm/s mit bedingt hat.

Da die Klärung der Durchlässigkeitsverhältnisse an diesem Talhang für die Beurteilung von Notwendigkeit und Ausmaß der Abdichtungsmaßnahmen von entscheidender Bedeutung war, wurde nach dem Vortrieb der o. a. Kontroll- und Einpreßstollen ein weiterer, umfangreicher Färbeversuch durchgeführt. Dabei sollte neben der Frage der Wasserwegsamkeit auf Schichtflächen und Klüften insbesondere die Bedeutung der großen Störungszone als Wasserleiter bzw. Wasserstauer überprüft werden. Vor allem sollte auch die Durchlässigkeit in der Richtung parallel und senkrecht zum Verlauf der Störung untersucht werden.

### III. Durchführung des Färbeversuches

#### 1. Versuchsanordnung

Der Färbeversuch am Ihnedamm begann am 24. September 1963. Er wurde als „Dauerversuch“ durchgeführt, wobei 36 Stunden lang Uraninlösung in den Untergrund eingeführt wurde.

Es wurde eine Lösung von Uranin in neutralem Wasser mit einer Konzentration von  $10^{-3}$  verwandt. Diese Ausgangskonzentration hatte sich auf Grund von Vorversuchen als zweckmäßig erwiesen, da hierbei das aufgefangene Wasser eine Uraninkonzentration von  $10^{-6}$  bis  $10^{-7}$  hatte. Eine derartige Konzentration ist bei der Auswertung der Proben im Elektrofotometer besonders günstig.

Die Injektionsstelle befand sich im oberen Kontrollstollen am Langenohlberg. Im Hangenden der Störung wurde ein kurzes Bohrloch durch den Sohlbeton des Kontrollstollens abgeteuft und mit Hilfe eines Packers und einer Pumpe Uraninlösung (Konzentration  $10^{-3}$ ) mit

einem Druck von 6,9 atü ins Gebirge eingepreßt. Insgesamt wurden 5 m<sup>3</sup> Uraninlösung eingepreßt; der Uraninverbrauch betrug 5 kg.

Eine Woche vor Beginn des Färbeversuches wurden laufend Nullproben an den Beobachtungsstellen entnommen und untersucht. Die Probeentnahme nach Beginn des Färbeversuches erfolgte in den ersten vier Stunden viertelstündlich, in den nächsten 20 Stunden halbstündlich, in den folgenden 48 Stunden alle zwei Stunden, in den anschließenden 72 Stunden alle sechs und von da an bis zum Ende des Versuches am 22. Oktober 1963 alle 12 Stunden.

Zur Schaffung einer ausreichenden Zahl von Beobachtungsstellen wurden in dem unter dem Kontrollstollen verlaufenden Einpreßstollen insgesamt 16 Bohrlöcher an den Stößen durch den Beton gebohrt. Da sowohl der Einpreßstollen als auch der Kontrollstollen die Störung durchfahren, liegen die Beobachtungsstellen sowohl im Hangenden als auch im Liegenden der Störungszone (Abb. 2 und 3).

Als weitere Beobachtungsstellen dienten eine Bohrung im Sohlbeton des Zugangsstollens zum Einpressungsstollen (QB), Tropfstellen am südlichen Stoß des Einpreßstollens und eine Quelle am Langenohlberg. Ferner wurden alle Wasseraustritte und Wasserläufe in der Umgebung des Dammes auf eventuellen Uraninaustritt überprüft.

Die Konzentrationsmessungen der Proben wurden mit einem Elektrofotometer durchgeführt, mit dem Uraninverdünnungen bis 10<sup>-8</sup> ohne Schwierigkeiten quantitativ nachgewiesen werden können. Der Nachweis von geringeren Konzentrationen ist recht umständlich und zeitraubend, ist aber nach der Methode von MEYERHOFER bis zu einer Verdünnung von 4 · 10<sup>-9</sup> möglich.

## 2. Beobachtungen während des Versuches

Die Ergebnisse der Beobachtungen während des Versuches sind in Abb. 4 dargestellt.

In den ersten sechs Tagen nach Beginn des Färbeversuches wurden an keiner Beobachtungsstelle Farbstoffaustritte festgestellt. Die Uraninkonzentration lag in den Beobachtungsstellen 7a und 8 mit 5 bis 6 · 10<sup>-6</sup>, gegenüber den anderen Meßstellen verhältnismäßig hoch, bewegte sich jedoch im Bereich der Konzentrationen der Nullproben.

Am 30. September 1963 ergab sich an den Beobachtungsstellen 7a, 8, 9a und QB eine gleichmäßig einsetzende, starke Erhöhung der Konzentration um zum Teil mehr als eine Größenordnung. Die Meßstelle 9a, die vorher einen Wert unterhalb der Meßgenauigkeit aufwies, stieg auf 4,3 · 10<sup>-6</sup> an.

Nach dem 1. Oktober änderten sich die Konzentrationen an diesen Meßstellen bis zum 10. Oktober nur noch geringfügig; anschließend gingen alle Werte allmählich zurück.

Außer den o. a. Meßstellen wurde etwa 24 Stunden nach den starken Austritten im Stollen im Bereich der ca. 200 m südöstlich der Stollen am

Hang des Langenohlberges an die Störung gebundenen Quelle eine starke Erhöhung der Konzentration auf ca.  $4 \cdot 10^{-6}$  festgestellt. Auch hier ergab sich anschließend bis zum 10. Oktober kaum eine Änderung.

Alle anderen Beobachtungsstellen zeigten während des gesamten Beobachtungszeitraumes keine meßbaren Uraninkonzentrationen. Dagegen wurde noch an mehreren Tropfstellen in der Firste des unteren Einpreßstollens zwischen der Meßstelle 9a und dem Stollenende gefärbtes Wasser beobachtet.

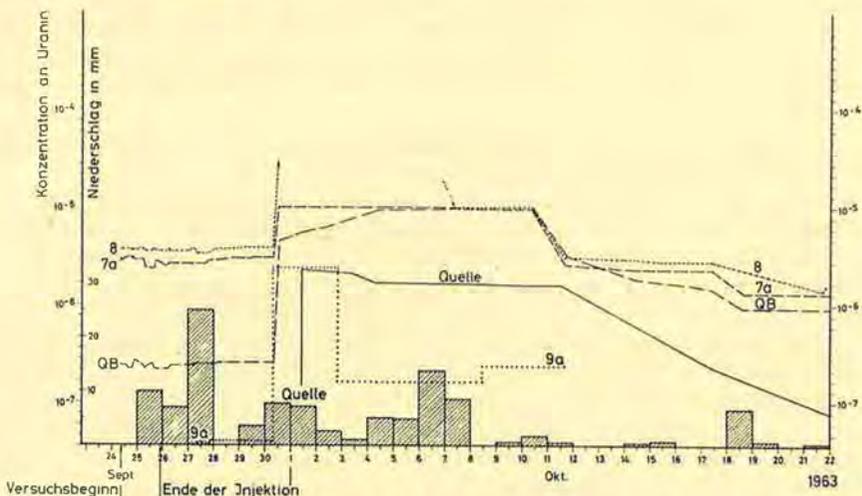


Abb. 4: Färbeversuch am Ihnedamm; Ergebnisse der Konzentrationsmessungen.

Die Meßstellen im Stollen talseitig der Störung zeigten keinerlei Uraninaustritte. Eine Ausnahme macht die erwähnte Sohlbohrung im Zugangsstollen (QB). Hierauf wird im folgenden noch eingegangen.

Die Fließzeit der Farblösung vom oberen Kontrollstollen zum unteren Einpreßstollen konnte durch die Konzentrationsmessung an der Beobachtungsstelle 9a eindeutig bestimmt werden. Die Probe vom 30. September wies für den Entnahmezeitraum von 5.00—8.00 Uhr einen nicht exakt meßbaren Uraningehalt von etwa  $10^{-8}$  auf. Die Probe für den darauffolgenden Zeitraum von 8.00—14.00 Uhr zeigte dagegen bereits eine Uraninkonzentration von  $4,3 \cdot 10^{-6}$ . Die Konzentration entspricht gleichzeitig bereits dem Maximum der Konzentration an dieser Stelle. Das gefärbte Wasser muß demnach gleich nach 8.00 Uhr ausgetreten sein, da sonst eine stärkere Verdünnung durch noch nicht gefärbtes Wasser eingetreten wäre. Das bedeutet, daß die Farblösung vom Zeitpunkt des Einpumpens bis zum Austritt sechs Tage oder fast genau 144 Stunden benötigt hat.

Außer den Uraninbestimmungen wurden an mehreren Beobachtungsstellen die Schüttungsmengen mit Gefäßmessungen bestimmt. Lieferte z. B. die Meßstelle 8 zu Anfang des Versuches 150 ml/min, so erreichte sie nach einigen Regentagen am 7. Oktober und 9. Oktober 1963 400 ml/min. Von dieser Zeit an ließ die Schüttungsmenge ständig nach.

## IV. Ergebnisse des Versuches

### 1. Fließweg des Wassers

Aus den Beobachtungen läßt sich der Fließweg des Wassers ableiten.

Die starke Erhöhung der Uraninkonzentration erfolgte in den südwestlich der Störung gelegenen Meßstellen 7a, 8 und 9a fast gleichzeitig. Ebenso trat etwa zum gleichen Zeitpunkt grüngelblich gefärbtes Tropfwasser in der Firste des Einpreßstollens zwischen der Meßstelle 9a und dem Stollenende auf. Es kann daher angenommen werden, daß der Farbstoff den Weg vom oberen zum unteren Stollen in etwa 144 Stunden zurückgelegt hat. Dabei dürfte die Zirkulation im wesentlichen auf Schichtfugen stattgefunden haben. Außerdem ist anzunehmen, daß auf den zuvor genannten flach liegenden Klüften zumindest teilweise eine Verbindung zwischen den einzelnen Schichtfugen hergestellt wurde (Abb. 3). Das fast gleichzeitige Auftreten des Wassers in den z. T. 20 m auseinanderliegenden Meßstellen kann so gedeutet werden, daß sich Wasser nach Erreichen der Stollenfirste in der gelockerten Zone über dem Stollen mit relativ hoher Geschwindigkeit bewegen konnte.

Die Beobachtungsstellen nördlich der Störung haben keine Farbstoffaustritte ergeben. Darin zeigt sich die abdichtende Wirkung der eigentlichen Störungszone; sie stellt einen Wasserstauer dar.

Dieser Aussage scheint zunächst der Austritt an der Meßstelle QB im Zugangsstollen zu widersprechen. Eine örtliche Überprüfung ergab jedoch, daß das gefärbte Wasser von den Austrittsstellen südlich der Störung durch eine Sohl drainage im Einpreßstollen, die durch den Zugangsstollen zur Luftseite des Dammes führt, abgeflossen ist.

Es handelt sich also beim Austritt an der Meßstelle QB nicht um direkt durch das Gebirge, sondern um künstlich zugeführtes Wasser.

Das in der Quelle im Störungsbereich südlich der Stollen festgestellte Wasser könnte im Streichen der Schichten bis an die Störung herangeflossen sein. Dieser Vorstellung widerspricht jedoch die relativ große Fließstrecke. Da das gefärbte Wasser nur etwa 24 Stunden nach dem Austritt im Einpreßstollen aufgetreten ist, ist ein anderer Weg wahrscheinlicher. Vermutlich gelangte das Wasser im Bereich der Meßstelle 7a an die stark gelockerte Zone im Hangenden der Störungszone. In dieser Zone floß das Wasser mit größerer Geschwindigkeit in südöstlicher Richtung ab und trat ca. 200 m weiter in der dort befindlichen Quelle zutage.

## 2. Fließgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit einer Wasserbewegung hängt ab vom zurückgelegten Weg — der wahren Weglänge — und der Zeit. Diese Bahngeschwindigkeit, d. h. die tatsächlich auftretenden Geschwindigkeiten der einzelnen Wasserlamellen, ist keine eindeutig bestimmbare Größe. Die Ermittlung der wahren Weglänge, wobei jede Wasserlamelle einer anderen unbekanntem Strömungsbahn folgt, ist praktisch nicht möglich. Durch einen Färbeversuch kann lediglich die Abstandsgeschwindigkeit der Farblösung bestimmt werden.

Als eindeutiges Ergebnis dieses Färbeversuches kann die Fließzeit von der Injektionsstelle zur Austrittsstelle betrachtet werden. Diese Zeit wurde für den Meßpunkt 9a mit 144 Stunden ziemlich genau ermittelt. Da die Meßstelle 9a etwa in der Mitte zwischen den Austrittsstellen im unteren Stollen liegt und der Austritt etwa gleichzeitig erfolgte, kann diese Meßstelle als repräsentativ für die Wasserbewegung im Gebirgskörper zwischen dem Kontroll- und dem Einpreßstollen angenommen werden.

Der gradlinige Abstand der Injektionsstelle von der Meßstelle 9a beträgt ca. 40 m. Daraus läßt sich eine Abstandsgeschwindigkeit von  $7,7 \cdot 10^{-3}$  cm/s berechnen. Für die anderen drei Meßpunkte, die gleichfalls einen Konzentrationsanstieg verzeichneten, könnte die Abstandsgeschwindigkeit geringfügig differieren.

Es ergibt sich, daß die Fließgeschwindigkeit in einem tonig-sandigen Gestein parallel zur Schichtung in der Größenordnung zwischen  $5 \cdot 10^{-3}$  cm/s und  $1 \cdot 10^{-2}$  cm/s liegt.

Weiterhin läßt sich aus dem Ergebnis die wahrscheinliche Fließgeschwindigkeit im gelockerten Randbereich der Störungszone ableiten. Das Wasser brauchte rd. 24 Stunden, um von dem Bereich der Meßstelle 7a im gelockerten Randbereich der Störung bis zum rd. 200 m entfernten Quellaustritt zu gelangen. Das entspricht einer Abstandsgeschwindigkeit von etwa  $2,3 \cdot 10^{-1}$  cm/s. Die Fließgeschwindigkeit im gelockerten Randbereich der Störungszone ist also rd. 30mal so hoch wie im normalen sandigen Tonschiefergestein parallel zu den hauptwasserleitenden Fugen.

## 3. Sonstige Messungen

Während des Färbeversuches trat in einem Pumpensumpf am Innehang uraningefärbtes Wasser auf. Dieses konnte nur über eine undichte Stelle eines Drainagerohres der Dammschürze dorthin gelangen. Nachfolgende genaue Untersuchungen haben gezeigt, daß das Drainagerohr an der Fuge zwischen Dammschürze und Stollenbeton gerissen war. Entsprechende Reparaturmaßnahmen konnten eingeleitet werden.

Am Stollenbeton des Kontroll- und des Einpreßstollens zeigten Wassertröpfchen und kleine Wasserbahnen Uraninfärbung. Dieses Wasser, das vorher als Kondenswasser angesehen worden war, konnte so-

mit einwandfrei als Bergwasser nachgewiesen werden. Durch die Fluoreszenz des Uranins bei Lampenlicht konnten auch die haarfeinen Risse im Beton gut ausgemacht werden.

Die Messungen der Schüttungsmenge an den einzelnen Beobachtungsstellen haben zu keinem konkreten Ergebnis geführt, weil während der Versuchszeit starke Niederschläge fielen, die das Meßresultat vermutlich erheblich beeinflußt haben. Um die Durchgangsgeschwindigkeit

$\frac{\text{Durchfluß}}{\text{Fläche}}$  und die Wasserdruckwelle zu erfassen, hätten längere

Zeit vor Versuchsbeginn an den einzelnen Meßstellen Nullproben genommen und diese in Beziehung zu stündlichen Regenmengenmessungen gebracht werden müssen. Derartige Messungen waren jedoch aus Zeitgründen nicht möglich.

## V. Folgerungen für das Projekt

Der Färbeversuch hat recht gute Vorstellungen über die Fließgeschwindigkeit des Wassers in einem sandigen Tonschiefergestein ergeben. Er hat damit auch für das vorliegende Projekt wichtige Unterlagen für die Planung der Untergrundabdichtung geliefert.

Aus den oben abgeleiteten Abstandsgeschwindigkeiten läßt sich für das normale Gebirge ein Durchlässigkeitsbeiwert parallel zur Schichtung vom  $k_f \approx 2 \cdot 10^{-4}$  cm/s ableiten; wobei davon ausgegangen wird, daß — wie Beobachtungen an benachbarten Bohrungen gezeigt haben — der Injektionsdruck bei der Ermittlung des Gefälles nur zu einem kleinen Teil angesetzt war. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Durchlässigkeit in der beim Versuch überprüften Richtung infolge Versatzes der Schichten an den zuvor genannten kleinen flachen Störungen geringer sein dürfte, als in Richtung annähernd parallel zum Talhang. Es sollte daher bei den weiteren Überlegungen von einem Mittelwert zwischen den zuvor genannten und den für den oberflächennahen Auflockerungsbereich (s. Abschnitt II) ermittelten Wert ausgegangen werden. Dieser liegt bei etwa  $2 \cdot 10^{-3}$  cm/s. Für den zerklüfteten Randbereich der großen Störungszone ergibt sich wegen des geringen Gefälles demgegenüber ein Wert von  $k_f \approx 10^{-2}$  cm/s. Insgesamt gesehen ist also die Durchlässigkeit in diesem Bereich verhältnismäßig hoch. Nimmt man für den späteren Aufstau für den durch die Stollen aufgeschlossenen Bereich ein mittleres Sickergefälle von  $i \approx 1/4$  und eine Durchsickerungsfläche von  $F \approx 4000$  m<sup>2</sup> an, so ergibt sich ohne Berücksichtigung der Störungszone eine Sickerwassermenge von

$$\begin{aligned} Q &= k_f \cdot i \cdot F \\ &= \frac{2 \cdot 10^7 \text{ cm}^3/\text{s}}{10^3} \\ &= 2 \cdot 10^4 = 20\,000 \text{ cm}^3/\text{s} = 20 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Dabei ist nicht berücksichtigt, daß im gelockerten Randbereich der Störungszone infolge der großen Durchlässigkeit eine große zusätzliche Wassermenge abfließen kann.

Eine derartige Sickerwassermenge an einem Talhang ist für das Biggetalsperrenprojekt sowohl hinsichtlich der Wasserverluste als auch vor allem wegen der mit der Durchsickerung verbundenen Ausspülungsgefahr nicht vertretbar.

Günstiger werden die Verhältnisse durch die festgestellten hydrogeologischen Eigenschaften der eigentlichen Kernzone der Störung. Es hat sich gezeigt, daß diese Zone abdichtend wirkt. Da die vom Stau-becken her in den Langenohlberg eintretende Wassermenge größtenteils zunächst die Störungszone queren müßte, ist eine relativ gute Abdichtung gegeben. Wasser, das weiter talaufwärts in den Hang eintritt, hat einen entsprechend längeren Sickerweg, das Gefälle zum Unterwasser ist wesentlich geringer. Die Gesamtsickerwassermenge wird dadurch herabgemindert.

Von besonderer Bedeutung hat sich die aufgelockerte Zone im Randbereich der Störung erwiesen. Entsprechend der stark durchlässigen Zone im Hangenden muß eine derartige Zone auch im Liegenden angenommen werden. Hierdurch wird eine direkte Verbindung vom Oberwasser zum Unterwasser auf kürzestem Weg hergestellt. Nimmt man eine Breite der stark durchlässigen Zone von etwa 4 m an, so läßt sich aus dem ermittelten  $k_f$ -Wert von etwa  $2,5 \cdot 10^{-2}$  cm/s, einem Sickerweg von rd. 100 m und einem Gefälle von ca. 50 m eine Sickerwassermenge von rd. 12,5 l/s berechnen. Auch diese Menge ist im Hinblick auf die Ausspülgefahr als zu hoch anzusehen.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich, daß eine Abdichtung des Bereiches erforderlich ist, wobei vorwiegend die stark gelockerte Umgebung der Störungszone erfaßt werden muß.

Zwischenzeitlich wurde diese Dichtung durch Injektionen hergestellt. Zur Zeit findet der erste Aufstau der Talsperre statt. Dabei haben sich die aufgrund der Durchlässigkeitsuntersuchungen getroffenen Maßnahmen bisher als voll ausreichend erwiesen.

## VI. Zusammenfassung

Im Rahmen hydrogeologischer Untersuchungsarbeiten für die Biggetalsperre im südlichen Sauerland wurde die Durchlässigkeit sandig-toniger devonischer Gesteine durch einen Färbeversuch überprüft. Dabei ergab sich im normal geklüfteten Gestein eine bevorzugte Wasserbewegung auf den Schichtfugen mit einer mittleren Fließgeschwindigkeit von  $5 \cdot 10^{-3}$  bis  $1 \cdot 10^{-2}$  cm/s. Eine größere mylonitisierte Störungszone erwies sich bei den Untersuchungen als Wasserstauer, während der stark gelockerte Randbereich der Störung eine erhöhte Durchlässigkeit mit einer Fließgeschwindigkeit von etwa  $1 \cdot 10^{-1}$  cm/s auf-

wies. Die Ergebnisse der Untersuchungen haben wesentliche Hinweise für die Abdichtungsmaßnahmen an der Südwestflanke des Ihnedammes ergeben.

### Summary

In the course of hydrogeological investigations for the Bigge Dam in the southern Sauerland the permeability of sandy-clayey Devonian rocks was tested by a dyeing experiment. In normally fissured rock a main water movement on the joints in the strata with an average flow velocity of  $5 \cdot 10^{-3}$  —  $1 \cdot 10^{-2}$  cm/sec. was established. A larger mylonitized fault zone was found to act as water-barrier, whereas the strongly loosened marginal area of the fault showed an increased permeability with a flow velocity of about  $1 \cdot 10^{-1}$  cm/sec. The experiments have resulted in important indications of the grouting measures to be taken at the south-western flank of the Ihne Dam.

### Résumé

Dans le cadre de recherches hydrogéologiques portant sur le barrage du Biggetal dans la partie sud du Sauerland, la perméabilité de roches devoniennes, sableuses-argileuses fut examinée par un essai de coloration. Dans la roche crevassée de façon normale, on a constaté surtout sur les joints de couches un déplacement de l'eau à une vitesse moyenne d'écoulement de  $5 \cdot 10^{-3}$  à  $1 \cdot 10^{-2}$  cm/séc. Au cours des recherches il se trouva qu'une zone mylonitisée assez grande barrait les eaux tandis que la marge fortement desserrée de cette faille manifesta une perméabilité élevée ayant une vitesse d'écoulement d'à peu près  $1 \cdot 10^{-1}$  cm/séc. Les résultats des recherches ont donné des indications essentielles au sujet des mesures prises pour rendre étanche la partie sud-ouest du barrage d'Ihne.