

Methodik und Beispiele von Färbeversuchen

Von H. J. CLASSEN *)

Einleitung

Färbeversuche sind in der Hydrogeologie und bergmännischen Wasserwirtschaft ein wichtiges Hilfsmittel, um die dem menschlichen Auge verborgenen Bewegungen des Grundwassers auf weite Entfernungen sowie die Bewegungen des Grubenwassers im Grubengebäude festzustellen. Als Beispiel für ersteres sei lediglich die große Donauversickerung angeführt, wobei der unterirdische Lauf der Donau durch einen Färbeversuch nachgewiesen wurde. Im Ruhrbergbau finden Färbeversuche sowohl über Tage als auch unter Tage vielfache Anwendung. Während über Tage meistens im Zusammenhang mit Bergschadensfragen Färbeversuche durchgeführt werden, sind unter Tage vorwiegend betriebswirtschaftliche Gründe die Veranlassung für solche Versuche. Meistens handelt es sich dabei darum, gewisse Wasserkurzschlüsse im Grubenwasserkreislauf aufzuspüren, um sie später auszuschalten. Es kommt vor, daß die Wässer einer oberen Sohle, die im Pumpensumpf gesammelt werden, von hier aus teilweise unkontrollierbar versickern und andernorts im Grubengebäude auf einer tieferen Sohle wieder austreten. Tritt solches Wasser dann in einem Abbaubetrieb auf, wird die Betriebsführung bemüht sein, die Herkunft dieses Wassers zu klären, wobei wiederum der Färbeversuch ein wichtiges Hilfsmittel sein kann. Die Praxis hat gezeigt, daß Wasserkurzschlüsse sowohl innerhalb des Grubengebäudes zwischen den einzelnen Sohlen auftreten, als auch außerhalb des Grubengebäudes zwischen der Tagesoberfläche und demselben, sowie einem Grundwasserleiter vorkommen, in der Form, daß das einmal gehobene und an die Tagesoberfläche gebrachte Grubenwasser dort wieder versickert und auf Klüften, die teils natürlichen Ursprungs sein können, teils auf Abbaueinwirkungen zurückzuführen sind, dem Grubengebäude erneut zufließen. Besteht der Verdacht, daß auf einer Schachtanlage solche Verhältnisse vorliegen, wird die Betriebsführung bemüht sein, derartige Gegebenheiten auszuschalten. Hierzu bedarf es aber eines konkreten Nachweises, der sich in vielen Fällen durch einen Färbeversuch erbringen läßt.

Methodik

Die Wasserwirtschaftsstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse hat in den letzten Jahren auf den verschiedensten Schachtanlagen zahlreiche Über- und Unter-Tage-Färbeversuche unternommen und dabei eine bestimmte Methodik entwickelt, um einen möglichst großen Wirkungsgrad dieser Versuche zu erreichen.

*) Anschrift des Autors: Dr. H. J. CLASSEN, Wasserwirtschaftsstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, 463 Bodum, Herner Straße 45.

Nach einer Veröffentlichung von W. SEMMLER stellt der Farbstoff Uranin AP das Natriumsalz des Fluoresceins dar. Im festen Zustand handelt es sich dabei um ein dunkelrot bis braunes Pulver, das bei Berührung mit Wasser in großer Konzentration sich mit einer rostbraunen Färbung löst. Mit zunehmender Verdünnung geht der Farbstoff jedoch in eine hellgrüne, stark leuchtende Lösung über. Diese grüne Farbe mit der starken Fluoreszenz ist die Ursache für die gute Verwendbarkeit im Ruhrbergbau. Die Verdünnung ist noch bei einem Verhältnis von 1 : 50 Mill. mit dem bloßen Auge nachweisbar. Mit dem Nephelometer sind noch Verdünnungen von 1 : 100 Mill. nachzuweisen. Ehe man den eigentlichen Färbeversuch einleitet, ist es ratsam, sich an Ort und Stelle von der Beschaffenheit der Umgebung, den geologischen und hydrologischen Verhältnissen, sowie von der Menge und der Qualität des anzufärbenden Wassers zu überzeugen. Handelt es sich beispielsweise darum, das Wasser einer Wasserseige anzufärben, weil die Vermutung besteht, daß es teilweise auf Abbauklüften zu einer tieferen Sohle abwandert, dann ist sowohl die Fließgeschwindigkeit in der Wasserseige, wie auch die Menge des dort strömenden Wassers von Interesse. Hat man es hierbei z. B. mit einer Fließgeschwindigkeit von etwa 0,10 m/sec und einer Wassermenge von 500 l/min zu tun, dann ist es anzuraten, den Färbeversuch so zu gestalten, daß er wenigstens über die Länge einer Schicht dauert, d. h., daß über diesen Zeitraum ständig Farbstoff der Wasserseige zugesetzt wird. Sollte die Wasserfließgeschwindigkeit dagegen größer sein, so wird die Einfärbezeit entsprechend auf das Doppelte, bzw. Dreifache zu verlängern sein. Die Menge des einzuleitenden Farbstoffes wird wesentlich von der Einleitungsdauer bestimmt. Der Farbstoff muß zunächst in einem Gefäß mit Wasser aufgelöst werden. Hierbei wird im allgemeinen eine Konzentration von 1 : 10 000, d. h. 1 g Uranin auf 10 Liter Wasser gewählt. Die Einleitung dieser Farbkonzentration in die Wasserseige soll dann zweckmäßigerweise derart erfolgen, daß ein unterbrochener dünner Farbfaden dem Wasser in der Seige zusitzt. Dieser Farbfaden wird durch die Strömung bereits nach wenigen Metern über den gesamten Querschnitt der Seige verteilt. Wenn dann, nach etwa 20 m unterhalb der Färbestelle das Wasser dunkelgrün erscheint, ist die Farbkonzentration richtig gewählt. Erscheint das Wasser jedoch nur hellgrün, kann die Farbstoffzugabe entsprechend erhöht werden. Im allgemeinen kann folgendes gesagt werden:

Je größer die Wassermenge und die Fließgeschwindigkeit des zu färbenden Mediums, um so größer muß die Farbkonzentration und um so länger die Färbezeit sein. Im Durchschnitt wurden in der Vergangenheit bei Färbeversuchen an Wasserseigen und kleineren Wasserläufen durchschnittlich 2—4 kg Uranin, beim Färben von Sümpfen und größeren Standwässern 6—8 kg Uranin verbraucht. Eine feste Regel für die Durchführung eines Färbeversuches, insbesondere eine Regel für die dabei benötigte Menge des Farbstoffes und die Dauer des Färbeversuches, sowie die Dauer der Probeentnahme, läßt sich nicht geben. Dieses muß von Fall zu Fall entschieden werden. Mit ausschlaggebend für das Gelingen eines solchen Versuches ist in jedem Fall, wie weit das geologisch-hydrologische Bild, das sich der Versuchsleiter von der Örtlichkeit gemacht hat, mit den tatsächlichen Gegebenheiten übereinstimmt.

Die Wasserqualität spielt insofern bei den Färbeversuchen eine Rolle, als schmutzige Gewässer vielfach zu einer Verklumpung des Färbemittels führen können. Das Färbemittel wird demzufolge nur zu einem Bruchteil gelöst und unterliegt daher beim Durchsickern auf Rissen im Schiefertone bzw. feinsporigen Sandsteinpartien einer wesentlichen Herabsetzung der Farbstärke. Erfahrungs-

gemäß tritt dieser Fall häufig beim Färben von Wässern in Sumpfquerschlägen auf. Eine weitere Verminderung der Färbekraft des Uranins tritt auch dann ein, wenn das Wasser sauer ist. Je nach dem pH-Wert sind daher Maßnahmen zu treffen. Ein Gegenmittel besteht darin, daß man vor Beginn des Färbeversuches dem Wasser im Sumpf Ätznatron in größeren Mengen zusetzt. Die beste Garantie für das Gelingen eines Färbeversuches ist es, wenn das Färben zunächst einmal im Laboratorium mit dem Originalwasser probeweise durchgeführt wird. Hier wird das Wasser neutralisiert, um dann die Färbekraft zu überprüfen.

Nur durch diese Originalbedingungen kann man unliebsame Überraschungen am Tage des Hauptversuches ausschalten. Es hat sich als empfehlenswert erwiesen, an dem Ort des Färbeversuches zwei größere Gefäße oder Wasserfässer aufstellen zu lassen, die etwas gestaffelt übereinander stehen. In dem ersten Gefäß wird dann das Färbemittel aufgelöst und läuft von hier aus über einen verstellbaren Überlauf in das zweite Gefäß. Hier kann es nach Belieben weiter verdünnt und durch einen Schieber dem zu untersuchenden Wasser beigegeben werden. Wenn nun der Färbeversuch eingeleitet ist, müssen an den Stellen, an denen voraussichtlich das gefärbte Wasser austreten wird, über einen mehr oder weniger langen Zeitraum hinweg Wasserproben entnommen werden, um das Auftreten des gefärbten Wassers an den fraglichen Stellen nicht zu verpassen. Dabei muß bedacht werden, daß es bei starken Verdünnungen von Uranin AP, etwa bei einem Verhältnis von 1 : 60 Mill., nicht mehr möglich ist, den Farbstoff mit dem bloßen Auge zu erkennen. Selbst scheinbar farblose Wasserproben können daher dennoch Farbstoff beinhalten. Es sollten aus diesem Grunde auch dann noch Wasserproben entnommen werden, wenn sich mit unbewaffnetem Auge keine Grünfärbung feststellen läßt. Ein endgültiger Nachweis, ob diese Proben Farbstoff enthalten oder nicht, läßt sich erst im Laboratorium erbringen.

Die Dauer der Probeentnahme richtet sich nach der Länge des Weges, den das gefärbte Wasser voraussichtlich zurücklegen muß. Unter Berücksichtigung des anstehenden Gesteins, der Fließgeschwindigkeit des gefärbten Wassers und der Entfernung der mutmaßlichen Austrittsstelle vom Ort des Färbeversuches muß der Hydrogeologe unter Berücksichtigung der bisher gemachten Erfahrungen entscheiden, wie lange die Probeentnahme fortgesetzt werden soll. Berechnen läßt sich dieses nicht, da zu viele Imponderabilien vorhanden sind; immerhin gibt ihm die Wassermenge einen Anhalt.

Die Wasserproben werden im Laboratorium zunächst solange gefiltert, bis etwaige Schwebestoffe entfernt sind und das Wasser mechanisch völlig geklärt ist. Dabei kann es vorkommen, daß einzelne Proben wegen der möglichen Gelbildung bis zu 10mal filtriert werden müssen. Anschließend werden sie im Nephelometer auf ihren Gehalt an Farbstoff untersucht.

Die Nephelometrie beruht im Prinzip darauf, daß das Streulicht gemessen wird, das dann entsteht, wenn ein Lichtstrahl durch ein lichtstreuendes Medium hindurchgeht. Aus dem gemessenen Streulicht lassen sich dann Rückschlüsse auf die Konzentration des streuenden Mediums ziehen. Die Grundlage dieser Meßmethode ist der bekannte Tyndall-Effekt. Gerade wegen dieses Effektes muß aber darauf hingewiesen werden, daß nur wirklich mechanisch reine Wasserproben untersucht werden können. Auch starke Salzkonzentrationen im Untersuchungswasser haben schon erhöhte Winkelwerte zur Folge gehabt. Aus diesem Grunde ist es ratsam, schon vor Beginn des Färbeversuches von jeder Probeent-

nahmestelle eine Wasserprobe zu entnehmen, um später Vergleichswerte zu haben.

Wenn man auch die Konzentration des Farbstoffes der Wasserproben ermitteln kann, so liegt aber das Schwergewicht bei diesen Untersuchungen darauf, festzustellen, ob überhaupt Farbstoff in der Probe vorhanden ist oder nicht. Da aber die Empfindlichkeit des Nephelometers nur bis zu einer Verdünnung von 1 : 100 Mill. reicht, bei ungünstigen Versuchsbedingungen aber noch höhere Verdünnungen erwartet werden müssen, soll kurz noch ein anderes Verfahren zur Farbstoffbestimmung geschildert werden, nach dem Verdünnungen im Verhältnis bei 1 : 4 Milliarden untersucht werden.

Es handelt sich hierbei um das Verfahren nach MAYERHOFER. Bei diesem Verfahren werden jeweils 3 bis 4 Liter des Untersuchungswassers mit 3 g aktiver Tierkohle versetzt und 15 Minuten gut durchgeschüttelt. Sodann wird die Kohle abfiltriert und mit 10 ccm Alkohol, denen einige Tropfen Alkali zugesetzt sind, ausgezogen. In dem so gewonnenen Auszug ist Uranin bei Anwesenheit mit dem bloßen Auge zu erkennen.

Wir kommen nun zu der Beurteilung der Auswertung von Färbeversuchen. Wenn der Färbeversuch positiv verlaufen ist, d. h. wenn der dem Untersuchungswasser beigegebene Farbstoff an den Stellen ausgetreten ist, an denen er erwartet wurde, dann ist mit Sicherheit der Nachweis erbracht, daß zwischen diesen beiden Stellen eine hydrologische Verbindung besteht.

Wenn dagegen der Färbeversuch negativ verlaufen ist, d. h. wenn das gefärbte Wasser an den Probeentnahmestellen nicht nachweisbar war, dann ist die Aussage dieses Versuches nicht eindeutig. In diesem Falle ist unbekannt, ob die Probeentnahme abgebrochen wurde, ehe das Wasser ankommen konnte, oder ob das gefärbte Wasser tatsächlich andere Wege geht. Im ersteren Falle wäre also eine Wiederholung des Färbeversuches mit größerer Farbstoffmenge unter wesentlich längerer Probeentnahmezeit zu empfehlen.

Beispiele zu Färbeversuchen

1. Auf der 6. Sohle einer Schachtanlage im südöstlichen Ruhrrevier war eine Haspelkammer ausgeschossen worden, die mit Betonfundamenten für die Fördermaschine ausgerüstet war. Die Fundamente lagen 1,50 m unter dem Streckenniveau und konnten nur durch andauerndes Abpumpen trocken gehalten werden, da ein Wasserzufluß von etwa 300 l/min bereits bei den Ausschachtungsarbeiten für die Fundamente eingesetzt hatte.

Der Hauptpumpensumpf der Schachtanlage befindet sich auf der gleichen Sohle auf der nördlichen Seite des Hauptquerschlages, während die neue Haspelkammer südlich des gleichen Querschlages angelegt wurde. Die aus dem Westfeld dem Pumpensumpf zuströmenden Grubenwässer werden etwa 50 m vor Erreichen der Haspelkammer nach Norden in den Sumpf abgeleitet.

Eine Befahrung ergab, daß die Wasserseige aus Betonsegmenten bestand, die an der nördlichen Seite des Querschlages verlegt und mit Holzbohlen abgedeckt, als Fahrweg benutzt wurde. Starke Ausfällungsprodukte von Bariumsulfat füllten den Wasserseigenquerschnitt zur Hälfte aus. Die ankommenden Wassermengen wurden mit 1,5 cbm/min gemessen. Da der Querschlag vom Schacht aus ansteigend aufgefahren war, bestand die Vermutung, daß die aus dem Felde kommenden Grubenwässer am Einlaß in den Sumpf gestaut wurden und teilweise auf der Sohle des Querschlages innerhalb der dort etwa 0,30 m

dicken Schotterdecke in Richtung auf den Schacht weiterfließen würden. Hierbei hätten sie zwangsläufig die Haspelkammer passieren müssen bzw. wären in dieselbe gelangt. Ein Färbeversuch sollte die Verhältnisse klären. In Höhe des Einlaufes der Wasserseigen in den Pumpensumpf wurde der Querschlag diagonal mit Natriumfluorescein gefärbt. Hierzu wurde ein halbes Kilogramm Uranin aufgelöst und in der Strecke zur Versickerung gebracht. Bereits 30 Minuten später war das Wasser in der Haspelkammer tiefgrün gefärbt. Es bestand somit die vermutete hydrologische Verbindung zwischen den beiden Punkten. Eine nephelometrische Untersuchung erübrigte sich.

2. Eine andere Schachanlage hatte für den Wasserbedarf ihres Kraftwerkes eine Reihe von Brunnen im Untersenon in den Osterfelder Formsanden bzw. den Recklinghäuser Sandmergeln niedergebracht, die bis auf 2 Brunnen einwandfreies Wasser lieferten. Da bei einem dieser Brunnen der Verdacht bestand, daß er von der Herstellerfirma nicht vorschriftsmäßig gebaut worden sei, sollten an diesem Brunnen die hydrologischen Zusammenhänge untersucht werden. Insbesondere sollte der Nachweis erbracht werden, ob im Bereich des Brunnens ein Wasserkurzschluß zwischen dem oberen Stockwerk im Pleistozän und dem genutzten Grundwasserstockwerk im Untersenon vorhanden sei. Wenn dies der Fall war, konnte die Herstellerfirma des Brunnens zur Behebung des Schadens herangezogen werden. Zunächst sei das Bohrprofil des Brunnens in vereinfachter Form wiedergegeben:

- 2,00 m mächtiges, sandiges Holozän
- 10,00 m mächtiges mittel- bis grobsandiges Pleistozän, wasserführend
- 39,00 m mächtige, schluff-tonige Oberkreide, Untersenon, Bottroper Mergel
- 11,00 m mächtige mittel- bis feinsandige Oberkreide, Untersenon, Osterfelder Sande, stark wasserführend
- 19,00 m mächtige tonige, feinsandige, mit Kalksandsteinbänken, Oberkreide, Untersenon, Recklinghäuser Sandmergel wasserführend
- 3,00 m mächtig die gleiche Formation, aber Wasserführung schnell abnehmend, die Gesamtteufe des Brunnens betrug 84,00 m.

Wir sehen daraus, daß das Grundwasservorkommen im Pleistozän und das genutzte Wasservorkommen in der Oberkreide durch eine 39,00 m mächtige Schicht des Bottroper Mergels voneinander getrennt sind. In einem Gutachten, das die Geologische Abteilung der WB über die schlechte Wasserqualität dieses Brunnens im Vergleich zu verschiedenen anderen Brunnen im gleichen Grundwasserstockwerk erstattete, war neben einer Anzahl geohydrologischer Möglichkeiten, die teils tektonischer Natur, teils rein sedimentär oder abbautechnisch erklärbar sind, auch auf die Möglichkeit hingewiesen worden, daß direkt an der Verrohrung des Brunnens Wasser aus dem Pleistozän mit dem Wasser im Untersenon in Verbindung treten könnte. Diese Möglichkeit sollte von der Wasserwirtschaftsstelle durch einen Färbeversuch geklärt werden.

Zu diesem Zweck wurde zunächst neben dem Brunnen eine Bohrung bis ins Pleistozän niedergebracht. Als weitere Vorarbeiten wurde zwei Tage vor dem Färbeversuch das Bohrloch kräftig abgepumpt, um Platz für die Farbeingabe zu schaffen. Der Wasserzustrom zum Bohrloch aber war so stark, daß sich lediglich eine Absenkung von wenigen Zentimetern erreichen ließ. Dies ist darum besonders bemerkenswert, weil im Zusammenhang mit dem Färbeversuch auch die etwa 300 m weiter östlich im Pleistozän befindlichen Flachbrunnen verstärkt gefahren wurden, ohne eine merkliche Absenkung zu erzeugen.

Nach diesen Vorbereitungen wurde das Bohrloch neben dem Brunnen mit 2 kg Uranin gefärbt. Das Färben zog sich über einen Zeitraum von 3 Stunden hin, da jeweils nur kleine Mengen von Farbstoff in einem Faß angerührt und in das Bohrloch eingeleitet werden konnten. Die Probeentnahme wurde für die ersten 7 Tage alle 2 Stunden durchgeführt. Geprobt wurde dabei das Brunnenwasser sowie das Wasser der östlich gelegenen Flachbrunnen. Die Untersuchungen im Nephelometer ergaben, daß kein Farbstoff in den Proben enthalten war. Auch die weitere, noch einen Monat durchgeführte Überwachung der Probeentnahmestellen mit täglich einer Probeentnahme ergab keinen Farbstoff im Wasser des Brunnens oder im Wasser der Flachbrunnen. Hieraus konnte geschlossen werden, daß

1. eine hydrologische Verbindung zwischen dem Pleistozän und dem Unterseenon direkt am Brunnen nicht besteht,
2. daß die Strömungsrichtung in der Rheinhauptterrasse an dieser Stelle nicht nach Osten auf die Flachbohrungen zu gerichtet ist.

Die Färbeversuche, die die Wasserwirtschaftsstelle seit vielen Jahren in einer großen Anzahl mit dem Farbstoff Uranin durchführte, haben ergeben, daß bei methodischer Durchführung derselben damit ein sicheres und zuverlässiges Nachweismittel für hydraulische Zusammenhänge gegeben ist.

Schriften

- SEMMLER, W.: Färbeversuche zur Ermittlung hydraulischer Zusammenhänge im Bergbau mit Uranin AP. — Glückauf **89**, Essen 1953.
 — Färbeversuche mit Uranin im Bergbau. — Technische Mitteilungen **49**, Essen 1956.
 SEMMLER, W. & SCHMIDT, R.: Durchlässigkeit und Absorptionsversuche zur Vorbereitung eines Färbeversuchs mit Uranin AP. — Technische Mitteilungen **51**, Essen 1958.
 SEMMLER, W. & SCHMIDT, R.: Die Anwendung des Farbstoffes Uranin AP zur Nachweisung hydraulischer Zusammenhänge unter und über Tage. — Bergfreiheit **23**, Essen 1958.
 KORTUM, G.: Kolorimetrie-Photometrie und Spektrometrie. — Bd. II, Springer-Verlag 1962.