

Grenzen natürlicher und künstlicher Methoden zur Verfolgung unterirdischer Wasserläufe

Von A. SCHINZEL (Innsbruck)

Wenn zu den hier diskutierten Fragen ein Vertreter des Faches Hygiene Stellung nimmt, dann muß vorangestellt werden, was für eine Art von wissenschaftlicher Fragestellung oder auch solcher, die auf reine Praxis hinausläuft, den Hygieniker bewegt.

Die Frage, die uns immer wieder besonders bewegt, ist, wo das Meteorwasser die Bodenoberfläche trifft, wie und wo es die Bodenoberfläche in der Richtung auf das Berginnere verläßt und wie es bis zum Zielpunkt kommt.

Obwohl der oberirdische Wasserweg für alle hygienischen Fragen, auch die der Trinkwasserbeschaffung, in mehr und mehr zunehmendem Maße an Bedeutung gewinnt, gilt im vorliegenden Falle unser Interesse den unterirdischen Wasserwegen.

Zum zweiten muß ich voranstellen, daß die Wahl der Mittel für die Verfolgung eines unterirdischen Wasserweges, so bedeutsam sie an sich sind, im allgemeinen für die hygienische Fragestellung nicht primär von so großer Wichtigkeit ist als eine Reihe von anderen Fragen.

Obenan steht als erstes die Frage, wo ein unterirdisches Wasser von der Bodenoberfläche aus in die Tiefe des Bodens einzudringen Gelegenheit hat.

Die zweite Frage ist die Länge der unterirdischen Wasserwege und die Beschaffenheit derselben, was weitere oder engere Hohlräume bis zu Kapillarschichten betrifft, und drittens die dafür benötigte Zeit, besser die Frage der Fließgeschwindigkeit und der Zeit bis zum Erreichen des Zielpunktes.

Ich möchte im folgenden zwischen den zwei Gruppen von Methoden unterscheiden, die uns die Verfolgung des Verlaufes des Wassers unter Tag ermöglichen, nämlich

- a) Methoden unter Verwendung der natürlichen Gegebenheiten und
- b) solche durch künstliche Einbringung bestimmter Stoffe.

Wenn auch diese Aussprache vorwiegend den künstlichen Methoden gilt, so halte ich es für wichtig, festzuhalten, daß wir auch ohne künstliche Beeinflussung über den Verlauf unterirdischer Gewässer durch zweckmäßige Untersuchungen oft schon sehr viel aussagen können. Von den drei Methoden der Verwendung physikalischer, chemischer und biologischer Verfahren sollen hier nur einige Beispiele genannt werden, die sich zum Teil als außerordentlich bedeutsam erwiesen haben.

Es war uns in unseren Wasserlaboratorien in Wildalpen an der Salza und in Naßwald am Zufluß zur Schwarza aufgefallen, daß sowohl unmittelbar an der Fassung der Kläfferbrünne als auch an der Stelle der Fassung der großen Höllentalquelle auch im strengsten Winter, wo die Flußläufe mit einer zusammenhängenden Eisdecke überzogen waren, ein Randstreifen immer eisfrei geblieben ist. Dank der Initiative von S. R. STEINWENDER wurden diese beiden Wässer nach einer entsprechenden provisorischen Fassung eingehenden Untersuchungen unterzogen, mit dem Ziele, abzuklären, ob sie zur Deckung des Defizits der beiden Hochquellleitungen als trinkfähige Wässer herangezogen werden können. Es wurden dazu nicht nur einmal, sondern jeweils durch mindestens ein ganzes Jahr hindurch laufend Temperaturmessungen, physikalische, chemische und auch biologische Untersuchungen angestellt, die aber erst zum Ziele führten, als die erwähnte provisorische Fassung eine deutliche Abtrennung dieser Wässer gegenüber den Flußwässern gestattete. In der Tat ergaben in diesen beiden Fällen die Untersuchungen, daß sowohl in der Temperatur als auch im chemischen Verhalten die erwähnten Wässer keine laufende Beziehung zum Salzwasser und zum Schwarzwasser aufwiesen, wohl aber in engster Verbindung zu den bereits gefaßten Hauptquellen, der Kläfferquelle und Höllentalquelle, standen. Auch die bakteriologischen Befunde bestätigten, daß es sich hier einwandfrei um nicht erfaßte Quellwässer aus diesen Quellen handelte. Durch eine unsere Empfehlungen berücksichtigende Fassung auch dieser Wässer wurde das Wasservolumen der beiden Hochquellleitungen um schätzungsweise 50.000 bis 80.000 m³ pro Tag erhöht.

In einem anderen Falle, nämlich dem der Kräuterbrunnenquelle am rechten Ufer der Salza im zweiten Hochquellgebiet, war eine auf einer Länge von ungefähr 250 m unmittelbar am Steilabhang der Kräuterin aus wohlgebanktem Dachsteinkalk entspringende Gruppe von zwölf Quellen mit einer ganz erheblichen Wasserführung zu untersuchen. Der Abstand von der Salza war hier wesentlich größer und betrug zwischen 50 und 100 m. Die Verfolgung des die Quellen speisenden Wassers war hier viel schwieriger, und erst mit Hilfe der Veränderungen im Salzwasser im Zuge der Holztrift des Klausbetriebes war es möglich, eindeutige Antworten zu gewinnen. Dabei konnte für zehn von den beschriebenen zwölf Quellen durch eine auch subtile chemische und biologische Methodik der Nachweis erbracht werden, daß sie mit Aus-

nahme von starken Regenfällen fast ausschließlich Salzwasser führten und daß das Wasser vom Verlassen des Salzaufers bis zum Austritt aus den freigelegten Klüften und Spalten des anstehenden gewachsenen Dachsteinkalkes eine Zeit von zehn bis zwölf Stunden benötigte. Das Wasser der Salza mußte also Gelegenheit haben, tief in das Berginnere durch Kluftwege vorzudringen, um an einer Stelle, wo im Liegenden Dolomite das Weiterabsinken des Wassers erschwerten, zutage zu treten.

Obwohl sie näher an der Salza entspringen als die übrigen zehn Quellen, waren besonders die oberste Quelle I und zum Teil auch die Quelle II von diesen Beeinflussungen von der Salza erwiesenermaßen völlig auszuschließen. Die erwähnten zehn von der Salza beeinflussten Quellen wurden auch laufend in hydrobiologischer Hinsicht untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, daß gerade in diesen zehn abhängigen Quellen ein pflanzlicher Flagellat als Leitform für die Herkunft des Wassers eindeutig verwendet werden konnte, nämlich ein *Hydrurus* (species). Es handelt sich dabei um eine nur in kalten, schnellfließenden Gewässern mit einer relativ großen Wasserführung, also nicht in kleinen Bächen, vorkommende pflanzliche Form, die nur zu bestimmten Zeiten ihre Fruchtkörper in das Wasser abzugeben vermag. Gerade um diese Zeit waren in diesen zehn Quellen *Hydrurus*-formen zu finden. Hingegen waren sie in den Quellen I und II trotz lebhaften und langjährigen Suchens nicht ein einzigesmal zu finden gewesen, so daß eine klare Trennung der Herkunft der im gleichen Quellzuge entspringenden Quellen I und II von den von der Salza abhängigen, übrigens im Flußstrom tiefer unten entspringenden Quellen eindeutig möglich war.

Hydrobiologische Befunde haben mich auch an anderen Stellen sehr beschäftigt. Aber nur selten waren sie eindeutige Hinweise auf den Ort des Eindringens des Wassers ins Erdinnere. Ich erinnere aber immerhin daran, daß wir in der Stixtensteiner Hauptquelle uns lange Zeit wunderten, wieso in verhältnismäßig früher Zeit im Frühjahr Pinuspollen dort in großer Zahl zu finden waren, zu einer Zeit, wo diese Föhren nur im Talboden, nicht aber in den höheren Lagen, soweit sie überhaupt noch mit Föhren bestockt waren, zur Blüte kommen konnten. Nach Klarlegung dieser Frage war eindeutig anzunehmen, daß ein Zufluß aus irgendeinem Bach im Bereich der Talsohle die Ursache auch der übrigen bakteriologischen ungunstigen Verhältnisse sein mußte. Noch ehe wir zu einem Färbeversuch greifen konnten, konnte dann festgestellt werden, daß eine Widderanlage unter Verwendung von Bachwasser den Hochtransport von Quellwasser in einer Form besorgte, daß sich mit der Zeit Undichtigkeiten ergaben und so Bachwasser zu der Quelle Zutritt finden konnte. Nach der technisch nicht einfachen Behebung der Situation sollen — ich war damals nicht mehr in Wien — solche Befunde nicht mehr zutage getreten, also der Einfluß dieser Bachwässer zum Verschwinden gebracht worden sein.

Um solche Zusammenhänge zwischen Oberflächengewässern und Brunnen oder Quellen klarzulegen, muß man sich aller möglichen erlaubten Mittel bedienen. So konnten H. BENDER und A. SCHINZEL nachweisen, daß im Verlaufe der Ager auf breiten Strecken zu beiden Seiten der Agerufer eine Infiltration von Agerwasser in das Grundwasser erfolgte, was wir auch bei sonst chemisch differenten Wasserbefunden durch den Nachweis von Ligninsulfonaten, die aus dem Agerbett stammten, klarlegen konnten. Dabei war es insbesondere möglich, eine weitverbreitete Meinung zu zerstören und zu zeigen, daß aus einem relativ langsam durchflossenen, durch fluviatile Schotterfluren führenden Flußlauf mit einem durchwegs kräftigen, wenn auch nicht oligotrophen Sohlen- und Uferbewuchs die relativ sehr großen Lignin-Sulfonsäuremoleküle auf weite Uferstrecken durch die Flußwandung das ganze Jahr hindurch diffundieren. Die Wirksamkeit einer „biologischen Uferhaut“ erstreckt sich auch dort nicht auf diese großen Moleküle, wo sie Bakterien gegenüber, gemessen an den bakteriologischen Wasserbefunden, wirksam ist. Wird sie dann gegenüber kleinen Viren wirksam sein können?

Eine vielleicht noch wichtigere und seinerzeit hochaktuelle Erklärung war auch für die Herkunft des Wassers für das Großwasserwerk Gmunden möglich. Schon vor etwa 70 Jahren hatte sich um dieses Wasserwerk ein Riesenstreit entsponnen, und Gutachten namhaftester Autoren, wie Professor GRUBER, Hygieniker in Wien, und Professor SUSS, Geologe in Wien, führten schließlich zu der Empfehlung, das Wasser zu verwenden, unter der Annahme, daß es aus einem unterirdisch versickerten Bach, einem Zuflußbach zur Traun, unterhalb von Gmunden stammen würde. Durch recht interessante chemische Untersuchungen sowie Temperaturuntersuchungen konnte ich nun den Nachweis erbringen, daß dieses Wasserwerk zu etwa 85% nur aus Traunwasser gespeist wird und daß dieses Traunwasser eine Durchflußzeit außerhalb des Flußbettes bis zum Erreichen der Quelle von sechs bis acht Wochen benötigt. In dieser Zeit waren allerdings hydrobiologische Befunde, die auf den Zusammenhang weisen konnten, im Wasser nicht mehr zu finden. Das einzige, was wir fanden, waren fossile Pflanzensporen, sämtliche tot, die wahrscheinlich aus der Eiszeit oder aus Zwischeneiszeiten stammten. Aber die Kenntnis der Schichtungsverhältnisse und Durchmischungsverhältnisse im Traunsee gab uns die Möglichkeit, die Veränderungen im Chemismus des Traunwassers zu verfolgen, die einen typischen jahreszeitlichen Gang aufwiesen, und festzustellen, daß derselbe Gang, nur mit einer Verzögerung von sechs bis acht Wochen, in dem Brunnenwasser auftrat. Diese Feststellung war gleichzeitig bei erwiesenen, fast immer sehr günstigen bakteriologischen Befunden in diesem Wasser ein Hinweis dafür, daß bei einer Verweildauer des Wassers im Boden auf eine Strecke von ungefähr 1 bis 1,5 km von 6 bis 8 Wochen völlig ausreicht, dem Wasser nicht nur krank-

machende Keime, sondern überhaupt solche Keime durch Filtration zu entziehen, die aus dem Flußbett hätten stammen können und deren Eindringen zum Wasserwerk natürlich in höchstem Maße unerwünscht gewesen wäre. Dieses Wasser kann ruhig unaufbereitet verwendet werden, ja, es muß sogar durch Regelungen verhindert werden, daß die aus dem Seitengraben nach der Meinung der früheren Gutachter zudringenden Tiefenwässer, die gelegentlich bei Hochwässern Beunruhigung bringen, ausgeschaltet werden.

Färbeversuche

Es hieße Eulen nach Athen tragen, wollte ich über Erfahrungen berichten, die ich aus mehreren Dutzenden gelungenen Salzungs- und Färbeversuchen gewonnen habe. Im allgemeinen werden diese Versuche sowohl im Gebirge beim Einbringen von Farbstoff, Salz oder anderen Stoffen in Schwinden und Karsttrichter mit einer entsprechend großen Wassermenge eingespült werden müssen, als es auch alter guter Brauch ist, den schon das Institut BAMBERGER vor meiner Zeit bei Versuchen im I. Wiener Hochquellgebiet durchgeführt hatte, in Talgrundwässern eine solche Nachspülung zur Verbreitung der Farbstoff- oder Kochsalzwolke zu benutzen. Doch soll hier von zwei Fällen, wo diese Regel bewußt umgangen werden mußte, kurz berichtet werden. Hier wäre es völlig fehl am Platz gewesen, mit einer größeren Wassermenge eine entsprechend breite Farbstoffwolke zum Fortbewegen zu bringen. In den Jahren 1951/52 mußte ich über Wunsch der Wasserrechtsbehörde für einen neu zu errichtenden Horizontalbrunnen (Ranney-Brunnen) der VÖEST in Linz verschiedene hygienische Tatbestände und Maßnahmen begutachten. Von technischer Seite (Dozent Dr. ABWESER) war mit Nachdruck darauf bestanden worden, daß sich auch beim Betrieb eines Horizontalbrunnens der Wasserzustrom zu den Ranney-Brunnen in laminaren Bahnen bewegt und Turbulenzerscheinungen zu keiner Vermischung oberflächlicher und tiefer Unterwasser-schichten führen sollte. Gerade diese Frage war aber bedeutsam für verschiedene Verwendungszwecke dieses Wassers bzw. für die Verwendung der Grundstücke, die grundwasserstromaufwärts vom Ranney-Brunnen für verschiedene in einem Wasserschutzgebiet nicht zulässige Industriezweige ins Auge gefaßt worden waren, wobei der hohe Grundstückwert in diesem hochindustrialisierten Gebiet naturgemäß zu einer intensiven Ausnutzung zwingen mußte.

Trotz vielen Suchens und Rückfragens bei Kollegen in der Schweiz und in der Bundesrepublik Deutschland waren keine mir geeignet erscheinenden hygienischen Untersuchungen zu finden. Sie waren offenbar nicht vorhanden. Das von Donau und Traun eingeschlossene Schottergebiet ließ in diesem Grundwasserstrom zwar keine geologisch fundierten Stockwerke verschiedener, durch absolut und weitläufig dichte Trennschichten unterscheidbare Wasserschichten erkennen. Wohl aber

waren aus den Wasserbefunden in verschiedenen Bodentiefen eindeutig praktische Schichtbildungen nachzuweisen, die sich auf Abstände von mehreren hundert Metern regelmäßig in vielen Sonden nachweisen ließen.

Um dieser Frage näherzukommen und auf Grund zahlreicher anderer, hier nicht zu erörternden Untersuchungen aus den einzelnen Horizontalvortrieben habe ich schließlich drei eigens nach meinen Richtlinien konstruierte Schlagsonden schlagen lassen, sie durften keineswegs als Bohrsonden errichtet werden. Sie reichten bis unmittelbar über die Schlierschichte in ungefähr 17 m Tiefe. Diese Schlagrohre waren in regelmäßigen Abständen mit Schlitzn nach allen Himmelsrichtungen versehen, zwischen denen dann immer entsprechend breite schlitzfreie dichte Schichten gelagert waren. Es wurden dann zwei Pumpeneinrichtungen konstruiert, die eine, wo knapp oberhalb und knapp unterhalb des Saugloches für die Handpumpe ein vollkommen abdichtender Gummischlauch eingelegt wurde, der von oben mit einer Fahrradpumpe aufgeblasen werden konnte und erwiesenermaßen eine komplette Abdichtung nach oben und unten ergab. Ein zweites Modell sah die Einbringung eines dichten Weichgummiringes oberhalb und unterhalb der Saugöffnung vor. Das letztere wurde dann für die meisten Versuche verwendet, weil die VÖEST konstruktive Vorteile sah.

Bei der ersten am obersten und vom Ranney-Brunnen etwa 150 m bis 200 m entfernt gelegenen Sonde wurde nun in das Grundwasser $\frac{1}{2}$ m unterhalb des Grundwasserspiegels eine Menge von etwa 1 kg Uranin in einer kleinen Menge Wasser gelöst, ganz langsam unter Vermeidung jeder Wolkenbildung in das Grundwasser eingelassen. Es konnte bei der Sonde II in etwa 100-m-Abstand grundwasserstromabwärts von Sonde I und in 50-m-Abstand grundwasserstromaufwärts vom Ranney-Brunnen noch eindeutig festgestellt werden, daß die gefärbte Schicht sich streng an diese Höhenlage hielt und ein Tiefer-Diffundieren praktisch nicht festzustellen war. Die Horizontalvortriebe im Ranney-Brunnen lagen in einer Tiefe von 12 bzw. 13 m unter Flur.

Obwohl in der Sonde II vor Erreichen des Ranney-Brunnens die Schichtung des Grundwassers noch streng festgehalten werden konnte, war das gefärbte Wasser im Ranney-Brunnen aus beiden Horizontalvortriebsschichten heraus zu gewinnen. Wieweit die Turbulenzerscheinungen im Bereiche dieser Anlage erfolgten, geht noch daraus hervor, daß der dritte, gleich konstruierte Schlagbrunnen III in etwa 50 m Abstand unterhalb des Ranney-Brunnens in allen Schichten, in denen das Grundwasser anstand, von der untersten Lage der Horizontalvortriebe bis nach oben zwar in verdünnter Form, aber überall gefärbtes Wasser enthielt. Dabei war bei diesen Betrieben die optimal zulässige und zugelassene Wassermenge von 250 l/sec stark gedrosselt worden, auf weniger als ein Viertel der zulässigen Menge.

Bestimmte vorsichtige Methoden der Einbringung und der Probenentnahme waren dabei, wie schon erwähnt, einzuhalten. So durfte das Abpumpen aus diesen Schlagrohren nur mit einer Handpumpe und nur ganz langsam erfolgen, um nur ja keine Turbulenzerscheinungen um diese Sonden zu erzeugen, was auch gelungen ist.

Der Verlauf des Uraninkeiles folgte also tatsächlich bis zum Erreichen des Ranney-Brunnsens laminaren Wegen, und die tieferen Schichten blieben farbstofffrei. Wenn aber in diesem speziellen, geradezu idealen Fall die laminaren Zuströmverhältnisse im unmittelbaren Brunnenumkreis nicht mehr bestanden, in einem Fall, wo durch die Bodenschichtung geradezu ideale Voraussetzungen für einen laminaren Zufluss gegeben gewesen wären, um wieviel weniger war dies bei allen anderen von uns zu untersuchenden oder zu begutachtenden Ranney-Brunnen der Fall. Die Feststellung der Turbulenzerscheinung im Umkreis des Ranney-Brunnsens der VÖEST wurde von der Wasserrechtsbehörde bei ihren Entscheidungen vom Jahre 1954 zugrunde gelegt und damit voll anerkannt. Bei geeigneten Verhältnissen bietet der Ranney-Brunnen oder auch sonst ein Horizontalbrunnen entscheidende Vorteile. Solche jedoch, die sich auf angeblich laminare Zuströmung des Wassers zu den Horizontalvortrieben stützen, sind auf Grund dieser Untersuchungen auch bei sonst günstigen Voraussetzungen nicht mehr anzuerkennen. Es sei denn, es würde in einem konkreten Fall der exakte Nachweis des Fehlens turbulenter Strömungen in Brunnennähe erbracht, was ich allerdings für aussichtslos halte.

Ein anderer, ebenfalls nicht mit den üblichen Methoden von Grundwassermarkierungen durchzuführender Versuch wurde von mir in den Stadtwerken Linz, Wasserwerk Scharlinz, im Jahre 1949/50 durchgeführt. Hier liegt in einer langen Kette eine ganze Reihe von Brunnen, meist Filterrohrbrunnen. Die Abstände zwischen den einzelnen Brunnen wurden nach hydrologischen Gesichtspunkten richtig, im allgemeinen mit dem über zweifachen Abstand des Durchmessers des Absenkungstrichters in den seitlichen Ausmaßen bemessen.

Für die Entscheidungen war es jedoch auch von Wichtigkeit, wie weit jenseits der Brunnengalerie, also grundwasserstromabwärts, noch die Möglichkeit für das retrograde Fließen von Grundwasser zu den Brunnen gegeben ist. Es wurde daher über meinen Wunsch eine Reihe von Sonden senkrecht zur Brunnengalerie von oberhalb bis unterhalb der Brunnengalerie so gelegt, daß der zu verfolgende Uraninkeil nicht auf einen Brunnen zuwanderte, sondern zwischen zweien zum Durchfluß kommen sollte. Hier wurde mit einer Menge von nur 250 g Uranin gearbeitet. Vorversuche waren in großer Zahl früher schon von N. KNORR und im Aktuellen in vielen Fällen von mir durchgeführt worden. In etwa 200 m oberhalb der Brunnengalerie wurde auch hier wieder in eine Tiefe von etwa 1,5 m unter der Wasserspiegeloberfläche ganz vorsichtig und langsam das Uranin in konzentrierter Lösung einge-

lassen. Die Farbstoffwolke konnte noch durch eine Sonde vor Erreichen der Brunnengalerie verfolgt werden, sie wurde weiter durch die Untersuchung der beiden beiderseits gelegenen Brunnen sowie durch eine Sonde, die genau zwischen diesen beiden lag, verfolgt. Schließlich wurde noch unterhalb in derselben Richtung eine Anzahl von Sonden geschlagen, und so konnte nun eindeutig festgestellt werden, daß der Uraninkeil direkt zwischen den beiden Pumpbrunnen hindurchtrat und daß die Farbe, obwohl der Pumpbetrieb in vollem Maße aufrechterhalten war, zu der Zeit, wo der Uraninkeil die Höhe der Brunnengalerie erreichte, in den Brunnen nicht nachzuweisen war. Einige Zeit später (etwa 1 bis 2 Stunden) war der Farbstoff in der Sonde unterhalb, und wieder nach einer gewissen Zeit ($1\frac{1}{2}$ Stunde) war er in den beiden Brunnen festzustellen. Das heißt, das Uranin, das oberhalb eingelassen worden und zwischen den beiden Brunnen durchgeschlüpft war, verschwand nicht endgültig, sondern kam von hinten her über den verlängerten Absenkungstrichter doch noch teilweise zu den Brunnen, der andere Teil floß allerdings gänzlich ab.

Auch diese Feststellungen waren für die Entscheidung von Bedeutung, die die Wasserrechtsbehörde über Bauvorhaben und Schutzgebietsgrenzen unterhalb der Brunnengalerie zu erlassen für nötig befunden hat.

Summary

By chemical, physical and bacteriological experiments conducted in the area of the Second Vienna High Spring Water Supply System, pure springwaters have been separated, without the use of artificial tracers, from springwaters infiltrated with river-waters. By the said methods it has also been established that the waterworks of the town of Gmunden do indeed supply river-water that has infiltrated into the ground-water, but that this water is absolutely harmless on account of its long duration of flow, which amounts to 6—8 weeks. Then follows the description of two colouring experiments with uranin, conducted in ground-water wells of the VÖEST and of the Linz Municipal Works.

Résumé

A la suite de recherches chimiques, physiques et bactériologiques effectuées dans la région de la deuxième conduite d'eau aérienne de la ville de Vienne, on a obtenu, sans traçages artificiels, une séparation de pures eaux de source de celles auxquelles était mélangée de l'eau de rivière. Ces méthodes permettaient en même temps de prouver que le poste de pompage de la ville de Gmunden exploite, certes, de l'eau provenant de la Traun et infiltrée dans l'eau souterraine, mais que celle-ci, après être restée de 6 à 8 semaines est de qualité impeccable. Enfin sont décrites deux expériences de coloration à l'uranine effectuées dans des puits d'eaux souterraines de la VÖEST et des services municipaux de Linz.