

Untersuchungen über den Keimgehalt des Grundwassers in der mittelhheinischen Ebene.

Von

Prof. E. Pfuhl,
Oberstabsarzt I. Classe in Berlin.

Meine Untersuchungen über den Keimgehalt des Grundwassers in der mittelhheinischen Ebene habe ich im Jahre 1895 mit Unterstützung des Strassburger Bürgermeisteramtes ausgeführt. Meine Ergebnisse dürften auch für andere von Interesse sein, weil in vielen Flussthälern ähnliche Boden- und Grundwasserverhältnisse vorhanden sind, wie in der mittelhheinischen Ebene, wo sich der Grundwasserstrom im diluvialen Kiesboden langsam thalabwärts bewegt. Zu meinen Untersuchungen wählte ich mir die Umgebung des städtischen Wasserwerkes aus, wo das Grundwasser sich ziemlich dicht unter der Oberfläche befand und im Frühjahr stellenweise sogar aus dem Boden hervortrat. Der Kiesboden bestand aus dicht an einander gelagerten grösseren und kleineren Kieseln, deren Zwischenräume mit Sand von verschiedener Korngrösse gefüllt waren. Das Porenvolum betrug 26,8 bis 30 Procent. Der Kiesboden war von einer mehr oder weniger starken alluvialen Schlick- oder Lehmschicht bedeckt. Die Grundwasserproben wurden vermittelst eingesenkter Röhrenbrunnen entnommen. Die Keime, die beim Einschlagen der Brunnen von oben nach unten mitgerissen worden waren, liessen sich durch die Desinfection der Röhrenbrunnen beseitigen. Hierzu benutzte ich die Fraenkel'sche¹ Methode der Brunnendesinfection; die Neisser'sche² Methode war mir damals noch nicht bekannt.

Die Röhrenbrunnen wurden gleich nach dem Einschlagen tüchtig abgepumpt. Dem ersten Pumpenwasser war Kies und Sand beigemischt.

¹ *Diese Zeitschrift.* Bd. VI.

² *Ebenda.* Bd. XX.

Sobald das Wasser klar geworden war, wurde eine Probe zur bakteriologischen Untersuchung entnommen, um zu erfahren, wie viel Keime das Brunnenwasser vor der Desinfection enthielt. Hierauf desinficirte ich den Brunnen mit einer 6 procentigen Lösung von Acid. carbolic. lique fact. nach der Fraenkel'schen Methode. Nach 24 stündigem Stehen wurde der Brunnen nochmals mit der Carbolsäurelösung ausgespült und dann gleich abgepumpt. Schon nach der Herausbeförderung von 50 bis 70 Litern war das Wasser, das fortlaufend mit Bromwasser auf seinen Carbolsäuregehalt untersucht wurde, frei von nachweisbaren Spuren dieses Desinfectionsmittels.

Nach dem Abpumpen von 100 Litern wurde die erste, nach 300 Litern die zweite und nach 500 Litern die dritte Probe zur bakteriologischen Untersuchung entnommen.

Zuerst will ich auf die Versuchsbrunnen eingehen, die ein keimhaltiges Wasser lieferten, und mit dem Brunnen beginnen, den ich am 21. IX. 1895 an einer Stelle anlegte, wo vor einer Reihe von Jahren die alluviale Deckschicht und die oberste Kiesschicht abgehoben waren. Das Grundwasser stand 80^{cm} unter der Bodenoberfläche. Das Brunnenrohr tauchte 110^{cm} in das Grundwasser ein. Auch nach längerem Pumpen blieb das Grundwasser etwas trübe.

Die am 21. IX. 1895 entnommene Probe ergab 44 bis 100 Keime in 1^{cem}.

Nach der Desinfection zeigte es am 22. IX. 1895:

Nach dem Abpumpen von 100 Litern 120 bis 184 Keime in 1^{cem}

"	"	"	"	300	"	200 bis 420	"	"	1 "
"	"	"	"	500	"	80 bis 250	"	"	1 "

Das Brunnenwasser war demnach sowohl vor als auch nach der Desinfection des Röhrenbrunnens bakterienhaltig.

Das Gleiche war der Fall bei einem Brunnen, den ich schon am 30. VII. 1895 zwischen dem Sammelbrunnen des Strassburger Wasserwerkes und dem sogenannten Brunnenwasserbach, 6^m von dem ersteren entfernt, angelegt hatte. Der Brunnen stand in einem vor Jahren künstlich aufgeschütteten Kiesboden, ebenso wie der Sammelbrunnen, und tauchte 1^m in das Grundwasser ein, das 3.66^m unter der Bodenoberfläche lag. Die am 30. VII. 1895 entnommene Wasserprobe ergab 54 bis 64 Keime in 1^{cem}.

Desinfection gleich nach der Entnahme der Probe. Am 30. VII. 1895:

Nach dem Abpumpen von 100 Litern 63 Keime in 1^{cem}

"	"	"	"	300	"	68 bis 91	"	"	1 "
"	"	"	"	500	"	40 bis 60	"	"	1 "

Der zuerst beschriebene Brunnen war im gewachsenen, aber schon früher freigelegten Kiesboden angelegt, der zweite im aufgeschütteten Kiesboden. An beiden Stellen war das Brunnenwasser keimhaltig.

Der dritte Brunnen wurde am 20. IX. 1895 2.4^m tief in den Boden eingeschlagen. Er steckte 1.5^m tief im Grundwasser, das 90^{cm} unter der Bodenoberfläche stand. Was die Bodenbeschaffenheit anlangt, so lag unter einer schwachen Grasnarbe eine etwa 40^{cm} starke festere, mit Baumwurzeln dicht durchzogene Erdschicht, wo Kieselsteine mit Sand und Schlick ziemlich fest verbunden waren. Darunter befand sich der Kiesboden. Die nach der Fertigstellung des Brunnens entnommene Wasserprobe enthielt 218 bis 253 Keime in 1^{cem}. Nach der Desinfection enthielten die Proben:

Nach dem Abpumpen von 100 Litern	152 bis 190 Keime in 1 ^{cem}
„ „ „ „ 300 „	71 bis 116 „ „ 1 „
„ „ „ „ 500 „	122 bis 192 „ „ 1 „

Auch hier wurde beim Pumpen das Grundwasser keimhaltig gefunden, obwohl es 2.4^m unter der Bodenoberfläche und 1.5^m tief im Grundwasser entnommen wurde. Man darf jedoch nicht ohne Weiteres daraus schliessen, dass das Grundwasser in dieser Tiefe schon vorher keimhaltig war; vielmehr ist es anzunehmen, dass nur die oberste Schicht des Grundwassers verunreinigt war und dass diese beim Pumpen aus der Umgebung des Brunnens angesogen wurde. Wie dies vor sich geht, habe ich in meiner Arbeit „Ueber die Verunreinigung der Grundwasserbrunnen von unten her“¹ aus einander gesetzt. Uebrigens konnte ich an Ort und Stelle den Beweis erbringen, dass eine solche Ansaugung der obersten Grundwasserschicht wirklich stattfand.

Zwei Meter östlich von letzterem Brunnen, wo der Boden noch von der gleichen Beschaffenheit war, liess ich am 30. IX. 1895 einen anderen Brunnen einschlagen, der ebenfalls 1.5^m tief im Grundwasser steckte. 1½^m thalaufwärts vom Brunnen liess ich einen quer verlaufenden kurzen Graben ziehen, der gerade die oberste Schicht des Grundwassers freilegte. Zu dem spärlichen Grabenwasser setzte ich ½ Liter einer Prodigiosus-Bouillon-Cultur zu und liess nun den Brunnen kräftig abpumpen, so dass er in 5 Minuten je 100 Liter lieferte. Das spärliche Grabenwasser verschwand mit der beigemischten Bouilloncultur sehr bald im Boden. Bereits nach dem Abpumpen von 500 Litern erschien der Prodigiosus im Brunnenwasser. Er war also aus der obersten Grundwasserschicht der Umgebung des Brunnens durch das Pumpen nach abwärts bis zu der unteren Oeffnung des Brunnens und in diesen selbst hineingesogen worden.

¹ Diese Zeitschrift. Bd. XXI.

Wir wenden uns nun zu einem Versuch, der ein keimfreies Grundwasser ergab. Der betreffende Brunnen wurde am 6. V. 1895, einem regnerischen¹ Tage, auf einer etwas höher gelegenen Stelle, 28·8^m tief in den Boden gesenkt. Auf eine dünne Humusdecke folgte eine 1^m starke Schicht von sandigem Lehm und dann der Kiesboden, in dem 2^m unter der Oberfläche das Grundwasser stand. Der Brunnen tauchte also 80^{cm} in das Grundwasser ein. Er gab nach 1 stündigem Abpumpen ein klares Wasser, das jedoch wegen der Verunreinigung durch das eingetriebene Brunnenrohr in 1^{cem} 136 bis 243 Keime enthielt. Als jedoch der Brunnen desinficirt war, zeigte das Brunnenwasser:

Nach dem Abpumpen von 100 Liter 2 Keime in 1^{cem}

"	"	"	"	300	"	2	"	"	1	"
"	"	"	"	500	"	0	"	"	1	"

Das Grundwasser war also an dieser Stelle keimfrei. Die 1^m starke Schicht von sandigem Lehm hatte demnach ausgereicht, um das von oben einsickernde Wasser zu filtrieren, so dass keine Bakterien durch diese Schicht hindurch nach unten gelangen konnten. Bei dem letzten Versuche handelte es sich um einen gewachsenen Boden, der bisher noch keine Auflockerung der Humusschicht erfahren hatte.

Es war nun von Interesse, eine andere Stelle zu untersuchen, wo der Boden, der über der Schicht von sandigem Lehm lag, aufgelockert war. Einen solchen Boden traf ich auf dem hinteren Lazarethhof in Strassburg an. Hier fand ich am Rande eines gedüngten Gartenstückes eine Stelle, wo der Boden bis zu einer Tiefe von 1^m aus einem Gemenge von Sand, Lehm, Kies, Ziegelstücken, auch einigen Holz- und thierischen Knochenstücken bestand. Dann folgte ein gewachsener Boden, aus sandigem Lehm bestehend, in einer Stärke von 90^{cm}, und darunter der Kiesboden, in dem das Grundwasser 3·60^m unter der Bodenoberfläche angetroffen wurde. Das Brunnenrohr wurde am 24. VII. 1895, einem Regentage, dem schon mehrere regnerische Tage vorausgegangen waren, 5^m tief in den Boden eingetrieben. Die nach 1 stündigem Abpumpen entnommene Wasserprobe enthielt nur 1 Keim in 1^{cem}. Nach der Desinfection war auch hier das Grundwasser keimfrei. Nach Beendigung des Versuches wurde dicht beim Brunnen ein grosses Loch ausgegraben und dabei die vorher erwähnte Reihenfolge und Stärke der Bodenschichten festgestellt.

In den beiden letzten Fällen, wo ich das Grundwasser keimfrei fand, war es meiner Meinung nach die 1 bzw. 0·9^m dicke gewachsene Schicht von sandigem Lehm, welche die Keimfreiheit sicherte.

¹ Die Niederschlagshöhe betrug an diesem Tage 5·3^{mm}.

Während diese Schicht zum Schutz des Grundwassers gegen die mit dem Niederschlagswasser eindringenden Keime ausreicht, ist es mir doch fraglich, ob dies auch für ein Gelände zutrifft, das von Ueberschwemmungen heimgesucht wird, da nach den Beobachtungen von Abba, Orlandi und Rondelli ein Boden, der bei Regenwetter die Keime längere Zeit zurückhielt,¹ bei künstlichen Ueberschwemmungen die Keime sehr rasch bis zum Grundwasser durchtreten liess.

Dies kommt weniger für Brunnen als für Sauggallerieen in Betracht, von denen manche in Flussthälern angelegt sind, die bei Hochwasser überschwemmt werden. An solchen Stellen dürfte es sich empfehlen, zuerst durch einen eingeschlagenen Abessinier die Keimfreiheit des Grundwassers festzustellen, dann um den Brunnen herum durch 2 concentrische Lehmwälle eine Zone der Bodenoberfläche zu umgrenzen und diese mit Wasser, vermischt mit Culturen von leicht nachweisbaren Bakterien, zu überschwemmen, um beim weiteren Pumpen sich davon überzeugen zu können, ob diese Bakterien bis zum Grundwasser eindringen oder nicht.

¹ Abba, Orlandi und Rondelli hatten über und neben den Sauggallerieen der Turiner Wasserleitung fünf künstliche Ueberschwemmungsversuche gemacht, bei denen der Prodigiosus in den Boden eingedrungen und z. Th. in kurzer Zeit in die Sauggallerie gelangt war. Erst dann stellten sie über einer der Sauggallerieen, die bereits vorher Prodigiosus aufgenommen hatten, noch einen sechsten Versuch an, wobei sie es dem Regen überliessen, den Prodigiosus in die Tiefe mitzuführen. Bei dieser Versuchsanordnung ist es zweifelhaft, ob der Prodigiosus, den sie erst einen Monat später in der Wasserleitung nachweisen konnten, von dem sechsten Versuch oder den vorhergehenden Ueberschwemmungsversuchen herrührte.
