

404. B. Lepsius: Ueber die Abnahme des gelösten Sauerstoffs im Grundwasser und einen einfachen Apparat zur Entnahme von Tiefproben in Bohrlöchern.

(Eingegangen am 15. August.)

Beim Bau der neuen Wasserversorgungsanlage in Frankfurt a./M. habe ich Gelegenheit gehabt, einige Untersuchungen über die Abnahme des Gehalts des im sog. Stadtwalde befindlichen Grundwassers an gelöstem Sauerstoff anzustellen, deren Resultate¹⁾ ich mir der Gesellschaft mitzutheilen erlaube.

Nachdem die Untersuchungen von Finkener²⁾ über die Ursachen des Eisengehaltes des Tegeler Leitungswassers für Berlin die Wichtigkeit eines reichlichen Sauerstoffgehalts in dem zur Städteversorgung benutzten Grundwasser gezeigt haben, ist man neuerdings darauf hingewiesen worden, zur Vermeidung von ähnlichen Calamitäten hierauf bei den zu hebenden Grundwasserschichten Rücksicht zu nehmen.

Finkener hat in diesen Untersuchungen nachgewiesen, dass eine solche Gefahr der Eisenauflösung durch das Wasser überall eintreten kann, wo durch allmähliche Oxydationsvorgänge der Sauerstoffgehalt beträchtlich sinkt, während gleichzeitig der Kohlensäuregehalt steigt. Während nach Bunsen ein Wasser von 10⁰, welches bei derselben Temperatur andauernd mit Luft in Berührung gewesen ist, im Liter 12.7 ccm Stickstoff und 6.8 ccm Sauerstoff enthält, oder 34.08 pCt. Sauerstoff, fand Finkener im Wasser der unweit des Tegeler Sees versenkten Brunnen auf 10.91 ccm Stickstoff pro Liter nur 1.75 ccm Sauerstoff oder 13.8 pCt. Das Wasser des Tegeler Sees enthielt dagegen 14.56 ccm Stickstoff und 6.09 ccm Sauerstoff oder 29.5 pCt. Sauerstoff vom Stickstoffsauerstoffgehalt pro Liter. Bei dem Durchsickern des Seewassers nach den tieferen Schichten des Grundwassers war demnach der Sauerstoffgehalt von 29.5 auf 13.8 pCt. gesunken. Wie schnell in einem mit organischen Resten in Berührung kommendes Wasser seinen Sauerstoffgehalt verliert, geht aus den Untersuchungen von Reichard hervor, welcher Regenwasser bei 15—20⁰ C. mit Torf versetzte. Das Wasser büste bereits nach 5 Stunden $\frac{4}{5}$ seines Sauerstoffgehaltes ein und nach 48 Stunden waren nur noch Spuren vorhanden. Aehnlich verhält sich nach Miller das Themsewasser bei

¹⁾ Die sonstigen analytischen Resultate werden in den Berichten des phys. Vereines zu Frankfurt a. M. veröffentlicht.

²⁾ Zur Tegeler Wasserfrage. Berlin 1884.

London. Oberhalb der Stadt, bei Kingston, verhält sich der gelöste Sauerstoff zum Stickstoff wie 1:2 unterhalb London, bei Woolwich wie 1:52. Peligot fand im Wasser des Greveller Bohrloches 14 ccm Gas mit 22 pCt. Kohlensäure und 78 pCt. Stickstoff, aber keinen Sauerstoff. In einigen Brunnen in St. Denis von einer Tiefe von 60—100 m fand Girardin ebenfalls keine Spur von Sauerstoff.

Die zur Städteversorgung benutzten Grundwasser stammen in den meisten Fällen aus Sandschichten, welche mehr oder weniger eisenhaltig sind. Hier kann man die allmähliche Abnahme des Sauerstoffs im Grundwasser schon ganz äusserlich an den Bohrproben erkennen. Diejenigen der oberen Sandchichten sind roth oder gelb gefärbt, während bei zunehmender Tiefe diese Färbung mehr und mehr abnimmt und in dem Maasse, wie das Eisenoxyd in Oxydul übergeht, einer grauen oder schwärzlichen Färbung Platz macht. In diesen eisenoxydhaltigen Schichten hat ein kohlensäurehaltiges Wasser Gelegenheit, Eisen aufzulösen, wenn nicht ein genügender Sauerstoffgehalt vorhanden ist, welcher etwa gelöstes Ferrocarbonat wieder in Kohlensäure und Eisenoxyd zerlegt, welches letzteres dann durch organische Substanzen wieder zu Oxydul reducirt werden kann. Je nach der Geschwindigkeit des Grundwasserstromes, der Menge der sich oxydirenden organischen Substanzen, der hierdurch gebildeten freien Kohlensäure, der vorhandenen Menge Eisenoxyduls und des disponiblen Sauerstoffs wird sich in jeder Tiefe ein Gleichgewichtszustand zwischen diesen Reactionen einstellen, welcher in dem jeweiligen Sauerstoffgehalte des Wassers einen Ausdruck findet. Und zwar wird im Allgemeinen mit der Sauerstoffabnahme die Möglichkeit der Eisenauflösung zunehmen. Kommt schliesslich ein solches eisencarbonathaltiges Wasser an die Atmosphäre, so findet nach kurzem Stehen an der Luft, vielleicht auch schon beim Zusammentreffen mit Luft in den Pumpen oder Rohrleitungen eine Ausscheidung von Eisenoxyd statt; das Wasser wird gelb und missfarbig.

Noch eine zweite, nicht minder lästige Reaction kann bei Abwesenheit von Sauerstoff und fortschreitender Oxydation organischer Substanzen in dem Wasser eintreten, indem bei Anwesenheit von Gyps Schwefelcalcium gebildet wird, was mit der Kohlensäure des Wassers oder der Luft Schwefelwasserstoff entwickelt.

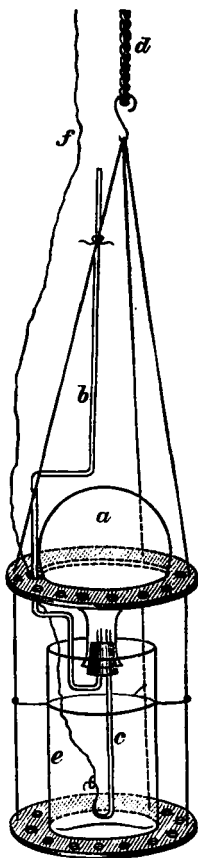
Um bei der neuen Wasserversorgungsanlage im sog. Frankfurter Stadtwalde gegen dergleichen Calamitäten; wie sie anderswo aufgetreten sind, sicher zu sein, wurden aus einigen Bohrlöchern, welche zu diesem Zwecke in verschiedene Tiefen getrieben worden, unter völligem Luftabschluss Wasserproben entnommen, in welchen nach der Bunsen'schen Methode Gasbestimmungen vorgenommen wurden. Die Entnahme dieser Tiefproben bot einige Schwierigkeiten. Obwohl in

der Literatur¹⁾ dergleichen Apparate behufs Gasbestimmungen im Wasser mehrfach beschrieben worden, so eignete sich für diesen Fall keiner derselben, hauptsächlich weil die Bohrlöcher nur einen Durchmesser von 8, resp. 15 cm Oeffnung hatten, während die meist für Tiefproben im Meere construirten Apparate weit grössere Dimensionen erforderten.

Es musste ferner der Apparat so beschaffen sein, dass man die Bestimmung selbst, nämlich das Auskochen des Wassers, in demselben vornehmen konnte, ohne das Wasser noch einmal in ein anderes Gefäss umfüllen zu müssen. Nachdem sich luftleere Kolben, deren Verschluss durch eine ausgelöste Feder in der Tiefe geöffnet wurde, sich ebenfalls als ungeeignet erwiesen, weil sie nicht exact genug functionirten, habe ich einen sehr einfachen Apparat zusammengesetzt, welchen ich für ähnliche Zwecke empfehlen kann, da er von jedermann angefertigt werden kann und ganz sicher functionirt.

Aus der beigefügten Zeichnung ergibt sich die Benutzung fast von selbst. Der Apparat besteht aus einem Eisengestell, dessen oberer Teller den gänzlich mit Quecksilber gefüllten, umgekehrten, ca. 30 ccm fassenden Kolben *a* trägt; durch den festgebundenen Gummistopfen führt das 6 mal gebogene Rohr *b*, welches nach dem Umdrehen des Kolbens ebenfalls ganz mit Quecksilber gefüllt wird, sowie das in eine Capillare ausgezogene, auch damit angefüllte Rohr *c*, welches mit dem Stopfen abschneidet. Die Capillare ist an der Spitze zugeschmolzen, zu einer kleinen Schleife umgebogen und mit einem losen Faden verbunden.

Auf dem unteren Teller, der ebenso wie der obere am Rande durchlöchert ist, steht ein Gefäss *e*; der ganze Apparat hängt an festen Drähten, an denen das Drahtseil *d* befestigt ist. Hat der Apparat die tiefste Stelle des Bohrloches erreicht, so wird durch Anziehen des Fadens *f* die Glasschleife abgerissen; das Quecksilber, welches dem Apparate zugleich als Gewicht dient, läuft in das Gefäss *e*, während durch *b* das Wasser in den Kolben einströmt. Nachdem



¹⁾ Vergl. Frémy 1836, Compt. rend. 6, 616; Biot, Pogg. Ann. 37, 416; Procupine expedition 1869, Proc. Royal. Soc. 18, 397; Tornöe 1876, Journ. pr. Chem. [2], 19, 401.

sich das Gleichgewicht hergestellt hat, ist der Kolben auf beiden Seiten durch Quecksilber abgeschlossen und kann aufgezogen werden, ohne dass das Wasser mit anderem oder mit Luft in Berührung kommt. Um sicher zu sein, dass man das Wasser aus der dem tiefsten Punkte des Bohrloches entsprechenden Grundwasserschicht erhält, wird kurz vor dem Einsenken des Apparats das Wasser etwas angesaugt. Man hat dann den mit Wasser gefüllten Ballon nur noch mit dem dem Bunsen'schen nachgebildeten Apparate von O. Jacobsen¹⁾ zu verbinden und kann dann die Gasbestimmung nach der gewöhnlichen Bunsen'schen Methode ausführen.

Die Proben wurden aus drei Bohrlöchern bei der Tiefe von 12, 18 und 25 m entnommen. Hierbei wurden folgende Resultate gewonnen: Das Wasser besass eine Temperatur von 10—11° C. Die Gasmengen sind auf 760 mm und 0° C. reducirt.

Tiefe	12 m		18 m		25 m	
	I.	II.	I.	II.	I.	II.
Sauerstoff	5.45 cem	4.75 cem	3.41	3.52	1.51	1.90
Stickstoff	16.16 cem	15.90 cem	12.05	12.55	11.12	11.76
Zusammen	21.61 cem	20.65 cem	15.46	16.07	12.63	13.66
Proc. Sauerstoff	25.21 pCt.	23.00 pCt.	22.05	21.90	11.90	13.90
Mittel	24.06 pCt.		21.97		12.90	

Es geht hieraus hervor, dass bis zu einer Tiefe von 18 m der Sauerstoffgehalt nur allmählich abnimmt: zwischen 12 und 18 m nur um 2 pCt., dass dagegen in den darauffolgenden Schichten die Abnahme ziemlich stark zunimmt, nämlich zwischen 18 m und 25 m von 22 pCt. auf 13 pCt. In der That zeigte auch das Wasser, welches aus der Tiefe von 25 m stammte, bei längerem Stehen an der Luft eine ganz schwach gelbliche Färbung und einen ebenso gefärbten Niederschlag, wenn auch noch in keinerlei Bedenken erregender Weise. Immerhin zeigen diese Zahlen, dass man gut thut, das Wasser nicht aus allzu tiefen Schichten zu entnehmen.

Es sei schliesslich noch bemerkt, dass das zur Untersuchung verwendete Wasser aus diluvialen und tertiären Sanden stammt, welche stellenweise von grauen Letten durchsetzt sind; der Grundwasserspiegel befindet sich wenige Meter unter der Terrainoberfläche und senkt sich mit einem Gefälle von ca. 1:500 nach dem Flussbette des Mains ab.

Frankfurt a. M., Chem. Lab. des phys. Vereins.

¹⁾ Ann. Chem. Pharm. 167, 1.