

Acta Medica Okayama

Volume 3, Issue 4

1932

Article 5

AUGUST 1933

Untersuchungen über die oligodynamische Wirkung und deren Anwendung bei der langsamen Sandfiltration.

Sei Tohma*

*Okayama University,

Copyright ©1999 OKAYAMA UNIVERSITY MEDICAL SCHOOL. All rights reserved.

Aus dem Hygienischen Institut der Med. Fakultät Okayama
(Vorstand: Prof. Dr. M. Ogata).

**Untersuchungen über die oligodynamische Wirkung
und deren Anwendung bei der langsamen
Sandfiltration.**

Von

Sei Tohma.

Eingegangen am 3. September 1932.

Über die bakterizide Wirkung von Kupfer und auch sonstigen Metallen liegt eine größere Reihe von Untersuchungen vor. Beim Studium der Literatur fällt aber auf, wie das auch bei anderen Fragen der Fall ist, daß die Resultate der verschiedenen Autoren trotz gleicher oder ähnlicher Untersuchungsmethoden verschieden sind, ohne daß hierfür bisher eine Erklärung gegeben worden ist.

Ich stellte mir erstens die Frage, ob bei der Oligodynamie Lichtstrahlungen beteiligt sind, und wählte ein dunkles und helles Zimmer, in dem die keimtötende Wirkung des Metalls geprüft wurde. Als Versuchsmaterial benutzte ich Kupfer, Silber, und Gold, die wegen ihrer kräftigen oligodynamischen Wirkung für meine Versuche am geeignetsten schienen. Zuletzt versuchte ich mittels blanken Metalls das Trinkwasser zu sterilisieren, und zwar durch Anwendung des Metalls bei der langsamen Sandfiltration. Hierbei erzielte ich gute Resultate. Im folgenden will ich darüber eingehend berichten.

D) Oligodynamische Wirkung des Metalls.

Literatur: Miller¹⁾ zeigte als erster, daß zu Goldkronen verarbeitetes Gold in kariösen Zähnen ebenso wie in infizierten Nährböden stark desinfizierend auf seine Umgebung wirkt. Schill²⁾ prüfte verschiedene chemisch reine Metalle auf ihre keimtötende Eigenschaften in infizierten Gelatin- und Agarnährböden und stellte solche besonders für Silber und Thallium fest. C. von Nägeli hat in einer Abhandlung, die erst nach seinem Tode von S. Schwendener in den Denkschriften der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft Bd. 33, 1, 1893, herausgegeben wurde, folgende sehr überraschende Beobachtungen mitgeteilt. Wenn das Wasser mit chemisch reinem Kupfer oder Quecksilber in Berührung gekommen war, entfaltete es auf

Wasserpflanzen eine spezifische Wirkung, die von den Wirkungen der Salze jener Metalle ganz und gar verschieden ist. Die Metalle zeigen also außer der früher bekannten „chemisch giftigen“ auch noch eine phänomenologisch ganz andersartige, eine oligodynamische Wirkung.

Diese Wirkungen des Metalls werden auf das Wassermedium übertragen, was *Nägeli* als „Isagität“ bezeichnete. Als es ihm aber gelang, in einem Rückstand des eingedämpften aktivierten Wasser Blei, Zink, Eisen nachzuweisen, gab er die Idee von einer eigenen Kraft auf und nahm Lösungsvorgänge als Ursache an. *Israel* und *Klingmann*³⁾ bestätigen im wesentlichen die Angabe *Nägelis*. *Behring*⁴⁾ verfolgte diese Beobachtungen weiter und fand eine gleiche Wirkung bei Arsen, Silber, Quecksilber, Nickel, Zink; er nimmt die Auflösung der Metalle durch Bakterienstoffwechselprodukte als Ursache an. Ähnliche Beobachtungen machten *Natoneck* und *Reitmann*⁵⁾ und *Messerschmidt*⁶⁾; der letzte bemerkte keimfreie Höfe auf Agarplatten, die mit französischen Geschossen in Berührung gewesen waren. Alle genannten Autoren nahmen Lösungsvorgänge verschiedener Art als die Quelle dieser Erscheinungen an.

So stand die Sache unverändert, bis im Jahre 1917 von *Saxl*⁷⁾, im Gegensatz zu den bisherigen Autoren eine neue Eigenart als Weg zu einer Erklärung angegeben wurde. „Die keimtötende Fernwirkung der Metalle beruht auf einer physikalischen Energie, die sich zunächst an der Oberfläche der Metalle abspielt, jedoch auch in andere Medien übergehen kann.“ Lösungsvorgänge hält er nicht für wesentlich. *Saxl* versuchte auch Metalle zur Trinkwassersterilisation zu verwenden. Wir verweisen in diesem Zusammenhange auf die Versuche von *Blondlot*⁸⁾, ponderable und imponderable Strahlen, die von der Oberfläche blanker Metalle ausgehen sollen. Die Publikationen von *Saxl* riefen eine lebhafte Debatte und heftigen Widerspruch hervor. *Pfeiffer* und *Kadletz*⁹⁾ schlossen sich zunächst der Ansicht *Saxls* an und glaubten ein eigenes Kupfer und Säure als einen Indikator dafür gefunden zu haben. Kurze Zeit darauf sahen *Pfeiffer* und *Kadletz*⁹⁾ ihren Irrtum ein, zogen ihre Deutung zurück und stellten sich seitdem wie alle Autoren, auf den Boden der Lösungstheorie. Zuerst sprachen sich *Baumgarten* und *Luger*¹⁰⁾ gegen die *Saxlsche* Hypothese aus. Sie dehnten das Studium des oligodynamischen Phänomens, das bisher vornehmlich die Beeinflussung der Mikroorganismen zum Gegenstand hatte, auf Fermente und Toxine aus.

In der Folge erschien eine Reihe von Arbeiten, nämlich von *Doerr*¹¹⁾, *Bail*¹²⁾, *Löhner*¹³⁾, *Salus*¹⁴⁾, die sich den früheren Autoren anschlossen.

Untersuchungsmethode: Zur Prüfung der keimtötenden Wirkung des Metalls auf Bakterien wurden Metalle wie Kupfer, Silber und Gold, in Plättchen oder in dünnen Blättchen und in Pulverform ausgewählt. Dann wurde das Pulver in Reagenzgläsern, mit Wasser gemischt, oder die Innenwände der Reagenzgläsern mit dem Metall belegt. Die Versuchsmaterialien wurden vor jedem Versuche mit Alkohol gereinigt und dann im Trockenschrank bei 100°C 30 Minuten lang sterilisiert. Je 10 cc sterilisiertem Leitungswasser wurde 1 g bis 4 g Metall zugesetzt. Bei späteren Versuchen, in denen Kupfer, Silber und Gold in Pulverform dienten, wurde pro 50 cc Wasser 1 g Metall zugesetzt. Als Versuchskeime wurden meist 24 stündige, auf Agar gezüchtete Kulturen von *Coli* wegen ihrer relativ hohen Resistenz gewählt. Daneben wurde auch die oligodynamische Wirkung auf Keime geprüft, die gewöhnlich im Wasser vorkommen können (*Vibrio Metschnikoff*), oder auf epidemiologisch sehr wichtige

Keime (Typhus), und zwar betrug die Keimzahl pro 1 cc Wasser etwa 10,000 bis 1,000,000. Nach Verlauf einer bestimmten Zeit, in der das Metall und die lebendigen Bakterien bei Zimmertemperatur (10°C) miteinander in Berührung gewesen waren, wurde aus allen Reagenzgläsern je 1 cc Wasser auf die Agarplattenkultur gegossen. Die bactericide Kraft eines jeden Metalls wurde 24 Stunden nach Herrichtung der Agarplatten untersucht. Wenn sich die Kolonien mehr oder weniger auf den Agarplatten entwickelten, so bezeichnete ich dieses Resultat als (+), wenn nicht, als (—).

A. Versuche mit Kupfer.

Um die keimtötende Wirkung zu prüfen, wurden Kupferplättchen, Kupferreagensglas und Kupferpulver, in folgender Weise angewandt:

1) je 10 cc Wasser wurden im Reagensglas 1 g, 2 g und 4 g schwere Kupferplättchen und Bakterienemulsion zugesetzt; 2) je 50 cc Wasser wurde im Reagensglas 1 g Kupferpulver und Bakterienemulsion zugesetzt; 3) je 10 cc Wasser wurde in ein innen Kupfer belegtes Reagensglas mit Bakterienemulsion gegossen. Eine Serie von Versuchen (Tabelle 1) wurde eine bestimmte Zeit dem Tageslicht ausgesetzt, eine zweite Serie von Versuchen (Tabelle 2) wurde ebenso lange im Dunkeln stehen gelassen und nach einigen Stunden oder einigen Tagen die Koloniezahl bestimmt.

Es zeigte sich, daß blankes Kupfer sowohl im Tageslicht als auch im Dunkeln auf lebendige Bakterien schädigend einwirkt. Man kann nur in der ersten Serie, bei der 1g schwere Metallplättchen oder innen verkupferte Reagenzgläser verwandt wurden, feststellen, daß die Wirkung im Licht wesentlich schneller vor sich ging und zwar zeigte sich mit Metallpulver der Unterschied noch am deutlichsten, d.h. während sonst die 10,000 und 100,000 Keime in 1 cc erst nach 24 Stunden vernichtet wurden, wurden durch Metallpulver bei Tageslicht die gleichen Keimmengen schon nach 3 Stunden getötet. Bezüglich dieser baktericiden Kräfte des Metalls gibt es keine großen Unterschiede zwischen den verschiedenen Bakterienarten, wie Koli, *Vibrio Metschnikoff* und Typhus. *Händel* und *Segal*¹⁷⁾ untersuchten die Wirkung von Kupfer auf Blutkatalaselösungen und wiesen nach, daß ein blanker Kupferstab sowohl im Licht als auch im Dunkeln auf die Katalasewirkung hemmend wirkt und zwar im Licht wesentlich stärker.

B. Versuche mit Silber.

Diese Versuche wurden analog wie die vorher gehenden ausgeführt; dabei wurde als Versuchsmaterial Silber statt Kupfer benutzt, die Mischungen von Silber und Bakterien bei Tageslicht und im Dunkeln eine bestimmte Zeit stehen gelassen, und in der gleicher Weise wie im Versuche A nach Stunden oder nach Tagen auf ihre Sterilität hin geprüft. Blankes Silber wirkt dabei auf die Bakterien im Licht stärker als im Dunkeln, d.h. im Licht vernichtet 1g Ag in

C. Versuche mit Gold.

Die keimtötende Wirkung des Goldes zeigt sich in Pulverform viel stärker als in Plattenform und wiederum besser bei Licht als im Dunkeln (Tabelle 5 und 6). Es werden nämlich bei Licht mit 1 g Goldpulver in 500 cc Wasser 10,000 Keime pro 1 cc nach 1 Stunde, 100,000 Keime nach 2 Stunden, 1,000,000 Keime nach 2 Stunden, 1,000,000 Keime nach 3 Stunden und 1,000,000 Keime nach 4 Stunden vernichtet. Die oligodynamische Wirkung des Goldes scheint beinahe der des Silbers gleich zu sein.

Tabelle 5. Versuche bei Tageslicht.

Art u. Menge des Metalls Menge des Wassers	Art der Keime	Keimzahl pro cc	Sterilitätsprüfung nach Stunden									Sterilitätsprüfung nach Tagen														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8							
Innen vergoldetes Reagensglas 10 cc Wasser	Koli Vib. Metsch. Typhus	ca. 10,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		ca. 10,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		ca. 10,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Au-pulver 1g in 50 cc Wasser	Koli	ca. 10,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		ca. 100,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		ca. 1,000,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

Tabelle 6. Versuche im Dunkeln.

Art u. Menge des Metalls Menge des Wassers	Art der Keime	Keimzahl pro cc	Sterilitätsprüfung nach Stunden									Sterilitätsprüfung nach Tagen													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8						
Innen vergoldetes Reagensglas 10 cc Wasser	Koli Vib. Metsch. Typhus	ca. 10,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		ca. 10,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		ca. 10,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Au-pulver 1g in 50 cc Wasser	Koli	ca. 10,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		ca. 100,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		ca. 1,000,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

D. Versuche mit aktiviertem Wasser.

In eine bestimmte Wassermenge wurden die oligodynamisch wirkenden Metallarten nacheinander während einer gewissen Zeit hineingelassen und dann wurden die Metalle herausgenommen. In dieses vorbehandelte Wasser wurde eine bekannte Keimmenge gebracht und dann geprüft, in welchem Zeitpunkt die Keime vernichtet werden. Wenn das Wasser schon durch den Kontakt mit oligodynamischen Metallen die baktericide Kraft erhält, so nennt man das „Aktivierung“. Nach meinen Versuchen mit aktiviertem Wasser, d.h. nach Entfernung des betreffende Metalls, ergab sich bei

dem gleichen Keimzusatz eine oligodynamische Wirkung. In 50 cc Wasser wurden 1,000 Keime pro cc nach annähernd gleichen Zeiten vernichtet, doch nimmt die Sterilisierung mit dem aktiviertem Wasser etwas längere Zeit in Anspruch als bei fortdauernder Anwesenheit des Metalls.

Einen Einfluß des Lichtes auf die oligodynamische Wirkung konnte ich in diesem Falle nicht beobachten, d.h. diese Lichtwirkung ist eine Erscheinung, die nur bei Gegenwart von Metallen beobachtet wird.

Kurze Zusammenfassung.

1. Wenn man die oligodynamische Wirkung von Metallen von gleichen Gewichten, aber verschiedenen Formen vergleicht, so ist die keimtötende Wirkung am stärksten bei Metallpulver, nächst dem bei Metallblättchen und am schwächsten bei Metallpättchen.

2. Diese oligodynamische Wirkung ist nicht sehr spezifisch und man kann diese Wirkung auf verschiedene Arten von Bakterien, z.B. Coli, Typhus und *Vibrio Metschnikoff*, nicht unterscheiden.

3. Wenn die baktericiden Kräfte von Kupfer, Silber und Gold nach obigem Versuch verglichen werden, so ist die Reihenfolge: Kupfer, Gold und Silber.

4. Den Einfluß des Lichtes auf die oligodynamische Wirkung bemerkte ich am deutlichsten bei der Pulverform.

5. Bei dem Versuch mit aktiviertem Wasser konnte ich auch die bakterizide Kraft nachweisen, die etwas schwächer wirkt als bei fortdauernder Anwesenheit des betreffenden Metalls.

II. Anwendung der oligodynamischen Metalle auf die langsame Sandfiltration.

In hygienischer Hinsicht war es von großer Bedeutung, daß zur Reinigung schmutzigen Wassers die Sandfiltration von *Simpson* in London aus dem Jahre 1829 und die Enteisierung von *Piefke* und *Oesten*¹⁸⁾ praktisch angewendet wurden. Die langsame Sandfiltration wird daher wohl auch bisweilen noch die „englische Sandfiltration“ genannt. Mit dem Aufkommen der bakteriologischen Wasseruntersuchung mußte sich das Interesse der Bakteriologen naturgemäß auch den Vorgängen im Sandfilter zuwenden, durch welche eine Herabsetzung der Keimzahlen erreicht wird. Grundlegend sind die *Versuche Piefkes*¹⁸⁾ geworden, der zuerst in Deutschland die Methoden der bakteriologischen Forschung in systematischer Weise zum Studium der Filtrationsvorgänge benutzte.

Daß die Filterhaut das alleinige wirkliche Filter ist, wurde nach den Untersuchungen von *Reinsch*²¹⁾ als wahrscheinlich angedeutet. *Reinsch* konnte zeigen, daß

und deren Anwendung bei der langsamen Sandfiltration.

589

die Dicke der Sandschicht einen nicht unbeträchtlichen Einfluß auf den Filtrationseffekt ausübt, indem nämlich mit abnehmender Sandschichthöhe die durchschnittliche Keimzahl des Filtrates steigt. Schon *Fränkel* hat übrigens betont, daß auch die unmittelbar unter der Filterhaut befindlichen Sandschichten für die Filterwirkung von Bedeutung sind, indem die „verschleimten Sandpartikelchen auf die mit der Strömung vorüberziehenden Mikroorganismen wie Leimruten wirken.“ Wenn auch die „Filterhaut“ den größten Teil der Bakterien des Rohwassers abfängt, so läßt sie doch immerhin noch eine nicht unbeträchtliche Anzahl passieren. So fand *Reinsch*²¹⁾ in einem Versuche im Filtrat, welches kurz unterhalb der Filterhaut entnommen war, noch 29 % der im Rohwasser enthaltenen Keime, 40 mm tiefer nur noch 0.1%. Augenscheinlich setzten sich die Filterporen auch noch bis in den größeren Teil des Filters fort und dienen nicht lediglich oder vorübergehend als Stützschiicht für die Filterhaut, sondern beteiligen sich auch bis zu einem gewissen Grade aktiv an der entkeimenden Wirkung des Filters.

Nach *Reinsch* sollte daher die Höhe der Sandschicht im Filter stets mindestens 400–600 mm betragen. Von Einfluß auf die Menge der im Filtrat erscheinenden Keime ist ferner die Filtrationsgeschwindigkeit, durch welche eine Zerstörung der Filterhaut und ein Aufrühren der im Sande abgelagerten Keime, Detritusmassen usw. zu befürchten ist.

Tabelle 7. Versuche mit aktiviertem Wasser.

Art u. Menge des Metalls Menge des Wassers	Aktivierungszeit	Versuchsort	Art der Keime	Keimzahl	Sterilitätsprüfung nach Stunden																
					1	2	3	4	5	6	7	8	9								
Cu-pulver 1 g in 50 cc Wasser	1 Std.	im Licht	Koli	ca. 1,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	3 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	5 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cu-pulver 1 g in 50 cc Wasser	1 Std.	im Dunkeln	Koli	ca. 1,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
	3 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	5 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ag-pulver 1 g in 50 cc Wasser	1 Std.	im Licht	Koli	ca. 1,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
	3 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	5 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ag-pulver 1 g in 50 cc Wasser	1 Std.	im Dunkeln	Koli	ca. 1,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
	3 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	5 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Au-pulver 1 g in 50 cc Wasser	1 Std.	im Licht	Koli	ca. 1,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
	3 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	5 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Au-pulver 1 g in 50 cc Wasser	1 Std.	im Dunkeln	Koli	ca. 1,000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
	3 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	5 Std.				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Die Filtrationsgeschwindigkeit soll im allgemeinen 100 mm in der Stunde (= 2.4 m pro Tag) nicht überschreiten, eine Geschwindigkeit, bei welcher auf 1 qm Filterfläche in der Stunde 100 L, pro Tag also 2.4 cbm filtriertes Wasser geliefert wird.

Die Frage über die Beziehungen zwischen der Bakterienzahl in Rohwasser und im Filtrat ist verschieden beantwortet worden. *Reinsch* sagte, daß unter sonst gleichen Bedingungen die Keimzahl des Rohwassers, wenn sie etwa zwischen 10,000 und 200,000 liegt, zum Keimgehalt des Filtrates keine Beziehung aufweist.

Bei einem höheren Bakteriengehalt des Rohwassers stellt er einen Einfluß nicht im Abrede. Die Grenzzahl, die zwar eine willkürliche ist, doch in der Praxis im allgemeinen anerkannt wird, beträgt 100 Keime pro cc Filtrat. In neuester Zeit hat man namentlich in Amerika, England und Frankreich den quantitativen Nachweis des Bakterium coli im Filtrat als Kriterium für eine genügende oder ungenügende Filterwirkung benutzt.

Methode betreffende Sandfiltration: Was die Technik der langsamen Sandfiltration anbelangt, so finden sich ausführliche Angaben hierüber bei *Hazen*²², *Feuertes*²³, *Imbeaux*²⁴, *J. König*²⁵ u.a.

Das Wasser, welches zweckmäßig einem Sedimentierungsbecken entnommen wird, wird auf die Filter geleitet, deren Größe sich natürlich aus dem Wasserbedarf und der Filtrationsgeschwindigkeit ergibt.

Der Filter besteht aus einem Glaszylinder von 55 cm Höhe und 11 cm mittlerem Durchmesser, in den das folgende eigentliche Filtermaterial eingefüllt wird. Vom Boden des Filters geht ein Sammelkanal aus, der mit einem Zapfhahn versehen ist. Im Zylinder befindet sich das Filtermaterial, und von unten nach oben ist es in nachstehenden Reihenfolge geordnet: Feldsteine, grober Kies, mittlerer Kies, feiner Kies, Grobsand und Feinsand. Von besonderer Bedeutung für den Filtrationsvorgang ist die oberste Feinsandschicht, deren Korngröße gewöhnlich zwischen 0.3 und 0.5 mm liegen muß. Die Höhe dieser Sandschicht beträgt etwa 45 cm, die übrigen Materialien dienen als Stützschichten. Die Gesamthöhe des Filtermaterials beträgt etwa 50 cm. Zu Beginn der Untersuchung wird das Rohwasser in den Filter geleitet und bis zum Überlauf angestaut und nun wird eine gewisse Zeit hindurch (bis zu 20 Tagen) beständig Wasser nachgefüllt, um die Bildung der Filterhaut vorzubereiten. Dann wird der Filter bei möglichst konstantem Rohwasserspiegel mit geringem Filterdruck angelassen. Die regelmässige bakteriologische Untersuchung gibt den Zeitpunkt an, von wo an das Filtrat dem Reinwasserbehälter zugeführt und für die Trinkwasserversorgung verwendet werden darf.

Über die bakteriologische Untersuchung des Filtrates:

1. Agarplatte: 5 g Fleischextrakt (*Liebig*), 5 g trockenes Pepton (*Teruuchi*), 3 g Kochsalz und 5 g Agar werden in 1 Liter Wasser gelöst; die Lösung wird ungefähr eine halbe Stunde in der Flamme erhitzt, und es wird ihr tropfenweise solange von der Normalnatronlauge zugegeben, bis eine herausgenommene Probe pH 7.4 zeigt, sie wird dann eine halbe Stunde im Dampf erhitzt und vor dem Erkalten und Absetzen filtriert.

2. Anlage der Kulturen: Nach der Entnahme der Probewässer muß man sofort die Kulturen anlegen, um eine Vermehrung der Keime im Filtrat während der Aufbewahrung auszuschließen. Die Agarplatten sind daher möglichst unmittelbar nach Entnahme der Wasserproben anzulegen. Die Pipetten zur Wassermessung sind in gut schließenden Blechbüchsen durch einstündiges Erhitzen auf 130–150°C im Trockenschrank zu sterilisieren. Für die Untersuchung des filtrierten Wassers genügt die Anfertigung einer Agarplatte mit 1 cc Wasserprobe, während für die Untersuchung des Rohwassers die Herstellung mehrerer Platten in zweckentsprechenden Abstu

fungen der Wassermengen, oft sogar eine vorherige Verdünnung mit sterilem Wasser erforderlich ist. Die abpipettierten Probewässer wurden in ein Petrischälchen entleert und dazu gleich das verflüssigte Agar bei 30 und 40°C hinzugefügt. Wasser und Agar wurden alsdann durch wiederholtes sanftes Neigen des Doppelschälchens miteinander vermischt.

Die Mischung wurde gleichmässig auf dem Boden der Schale zur Ausdehnung und dann zum Erstarren gebracht. Die fertigen Kulturschälchen wurden vor Licht und Staub geschützt und bei einer Temperatur von 37°C aufbewahrt.

3. Zählung der Keime: Die entwickelten Kolonien wurden nach 24 Stunden nach Herrichtung der Kulturplatten mit Hilfe der Lupe gezählt. Bei großer Koloniezahl wurden Zählplatten benützt. Etwas schwieriger ist die Zählung der durch den Filter hindurchpässierten pathogenen Keime, weil diese sich leicht bei einer größeren Wassermenge verringern. Daher muß man nicht nur die Menge des einfließende Wassers bestimmen, sondern auch durch wiederholte Keimzählungen die durchschnittliche Zahl der Keime feststellen. Um die Filtergeschwindigkeit zu bestimmen und damit zugleich den Zeitpunkt, in dem man den Austritt der künstlich hineingebrachten Kolibazillen im zu prüfenden Wasser erwarten kann, fügt man als Merkmal im Rohwasser Fluoreszein hinzu, d.h. lösliche Farbstoffe, die leicht nachweisbar sind und durch Filtern nicht erheblich zurückgehalten werden. Das Fluoreszein wird in Mengen von 100 cc (1% Lösung) an den Stellen hinzugefügt, wo nachher Koli eingeführt werden soll. Das Fluoreszeinkalium ist durch seine Färbung noch in einer Lösung von 1 : 1 bis 10 Milliarden nachzuweisen. Lässt sich nach bestimmter Zeit das Durchtreten von Fluoreszein nachweisen, so kann man den Koliversuch anfangen. Die Berücksichtigung der Mengenverhältnisse ist deshalb so wichtig, weil wir aus der Kenntnis des Filtrierverfahrens gelernt haben, daß in der Wirklichkeit schon von einem genügenden Erfolg desselben gesprochen werden kann, wenn dadurch die Bakterienzahl im Rohwasser auf 1% bis 1‰ herabgesetzt wird. Entsprechend dürfen wohl die übrigen Reinigungsverfahren des Wassers beurteilt werden. Die im Rohwasser vorhandenen Kolibazillen können auch so nachgewiesen werden, daß 1 cc des Probewassers oder des durch geflossenen Wassers mit *Endoagar*, der bei 100°C verflüssigt und auf 45°C abgekühlt worden ist, vermischt und in Doppelschalen zu Platten ausgegossen wird. Die so erhaltenen roten Kolonien werden, wie oben gezeigt, als Kolibazillen angesehen.

4. Verfahren zur Ergänzung und Verbesserung der langsamen Sandfiltration: Man hat sich bemüht, die oligodynamischen Wirkungen auch praktisch zu verwerten. *Krauser*²⁶⁾ berichtete schon 1906 über die guten Resultate bei der Wassersterilisation mittels Kupferplatten. *Saxl*²⁰⁾ gibt an, daß die keimtötende Kraft gediegenen Silbers sich zur Trinkwassersterilisation verwerten lasse.

Aber ich habe bis jetzt noch nicht gehört, daß die oligodynamischen Metallpulver bei der langsamen Sandfiltration angewandt worden wären. Ich habe damit die langsame Sandfiltration verbessert, um unter allen Umständen den strengsten hygienischen Anforderungen unbedingt zu entsprechen. Ich habe die oligodynamisch einwirkenden Metallpulver, die sich beim ersten Versuche als die günstigsten unter den verschiedenen Metallen nachweisen ließen, bei der langsamen Sandfiltration nach der Ausbildung der Filterhaut

angewandt, indem die verschiedenen Metallpulver auf deren Oberfläche ausgestreut wurden. Die Resultaten werden im folgenden Kapitel (5) genau angegeben.

Experimente.

Am 15. Dezember habe ich die Vorversuche angestellt. Als Versuchswasser wurde Leitungswasser, dem künstlich Koli zugesetzt wurde, verwendet. Die Sandfilter filtrierten dieses Wassergemisch ab, das erste (Filter A) mit einer Geschwindigkeit von 152 mm, das zweite (Filter B) mit einer solchen von 165 mm, das dritte von 160 mm, das vierte von 158 mm in der Stunde.

Vor der Filterhautbildung arbeiten diese Filter schlecht, weil die Keimzahl nicht so stark vermindert wird, wie sie im Versuchswasser aus 0.5, 0.3, 0.1 cc; und im Filterwasser aus 1.0, 0.5, 0.1 cc berechnet wird.

	Vor Filtration	Filtrat	% satz in Filtrat.
Filter A	2530	1268	ca. 50
Filter B	2723	1312	ca. 50
Filter C	3112	1483	ca. 50
Filter D	8512	1812	ca. 22

Die Sandfilter ohne Filterhaut sind nicht geeignet als Trinkwasserfilter, weil die gewöhnlichen Wasserbakterien, auch pathogene Bakterien derselben nicht mit Sicherheit zurückgehalten werden. Die Menge der in das Filtrat übergehenden Mikroorganismen ist abhängig von der Anzahl der im Versuchswasser vorhandenen Keime und von der Schnelligkeit der Filtration (Tabelle 8).

Dann habe ich in den Filterapparat das Rohwasser tropfenweise fortgesetzt hinzugefügt, das aus einem kleinen Bach in unserem Institut herrührt und in einem Blechgefäß oben gebracht wurde. Jeden Tag wurden die Versuche mit Koli im Filter fortgesetzt, die in den Tabellen genau angegeben werden.

Aus der Filtrationswirkung habe ich die Filterhautbildung in jedem Sandfilter in folgender Weise angenommen:

Filter A nach 21 Tagen (Versuchswasser 5108 u. Filtrat 122 Keime)
Filter B nach 26 Tagen (Versuchswasser 4630 u. Filtrat 126 Keime)
Filter C nach 21 Tagen (Versuchswasser 4311 u. Filtrat 158 Keime)
Filter D nach 20 Tagen (Versuchswasser 5552 u. Filtrat 142 Keime)

Nunmehr wurden die oligodynamischen Metallpulver, Kupfer auf Filter A, Silber auf Filter B und Gold auf Filter C, je 1 g auf die Oberfläche der Filterhaut ausgestreut und das Filter D als Kontrolle benutzt.

Die Zählungen wurden wieder vorgenommen.

(Filter A)	Versuchswasser	Filtrat	in %satz
am 5. Januar.	6002	62	ca. 1.0
" 10. "	5806	62	ca. 1.0
" 13. "	2502	4	ca. 0.2
(Filter B)			
am 10. Januar.	3892	87	ca. 2.2
" 13. "	4221	27	ca. 0.07
(Filter C)			
am 5. Januar.	5828	68	ca. 1.3
" 10. "	3750	66	ca. 1.7
" 13. "	5260	52	ca. 1.0
(Filter D)			
am 7. Januar.	5130	133	ca. 3.0
" 13. "	3500	131	ca. 3.0

und deren Anwendung bei der langsamen Sandfiltration.

8. Tabelle

Filter Keimzahl Datum	Filter A		Filter B		stündlich Filter Geschw. (mm)	Filter C		Filter D		stündlich Filter Geschw. (mm)	Täglich abfiltrirte Wassermenge (L.)						
	Keime in 1 cc		Keime in 1 cc			Keime in 1 cc		Keime in 1 cc			unfiltr. W.	filtr. W.	unfiltr. W.	filtr. W.	A	B	C
	unfiltr. W.	filtr. W.	unfiltr. W.	filtr. W.	unfiltr. W.	filtr. W.	unfiltr. W.	filtr. W.									
Dezember																	
" 15.	2530	1268	152	1312	165	3112	1483	160	1812	158	8512	1812	36.5	39.6	38.4	37.9	
" 16.	2862	1312	150	2530	163	2345	1222	156	1623	154	6210	1623	36.0	39.1	37.4	36.9	
" 17.	2280	1096	147	2400	160	5320	1328	153	1481	149	5332	1481	35.3	38.4	36.7	35.8	
" 18.	3112	840	145	2913	157	6300	1442	150	1398	145	4530	1398	34.8	37.7	36.6	34.8	
" 19.	4250	864	144	3887	155	3560	1083	146	1378	141	8250	1378	34.6	37.2	35.1	33.8	
" 20.	2500	679	142	2864	152	2480	967	141	880	137	4200	880	34.1	36.5	33.8	32.9	
" 21.	4825	632	140	4250	149	4252	920	137	798	133	1680	798	33.6	35.8	32.9	31.9	
" 22.	6280	582	139	6357	147	2367	858	135	654	130	5842	654	33.4	35.3	32.4	31.0	
" 23.	2530	547	137	2002	144	3871	733	132	586	126	2467	586	32.9	34.6	31.7	30.2	
" 24.	2890	502	136	3028	140	6250	658	129	496	122	3280	496	32.6	33.6	30.9	29.3	
" 25.	2369	456	134	2519	146	7862	633	126	432	118	3880	432	32.2	33.4	30.2	28.8	
" 26.	8321	422	132	7826	136	6500	568	123	2386	115	2386	568	31.7	32.6	29.5	27.7	
" 27.	6347	378	131	6500	133	6138	439	120	2564	113	2564	439	31.4	31.9	28.8	26.9	
" 28.	3512	336	129	3525	132	3023	351	118	1852	109	1852	351	30.9	31.7	28.3	25.9	
" 29.	4302	300	126	4300	128	2162	229	116	3650	106	3650	229	30.2	30.7	27.8	25.4	
" 30.	6202	264	120	5255	126	4250	191	113	8520	103	8520	191	28.8	30.2	27.1	24.7	
" 31.	5252	208	115	3280	122	5820	178	110	5552	102	5552	178	27.7	29.3	26.4	24.5	
Januar																	
" 1.	4318	172	108	4232	120	3320	156	107	3560	101	3560	156	25.9	28.8	25.7	24.2	
" 2.	4099	148	104	3138	117	3012	143	105	8520	100	8520	143	24.9	28.1	25.2	24.0	
" 3.	3620	130	102	6320	113	4268	136	104	5552	99	5552	142	24.5	27.1	24.9	24.0	
" 4.	5108	122	115	4050	109	4311	158	102	3560	99	3560	158	24.2	25.9	24.5	23.6	
" 5.	6002	62	108	2087	118	5828	82	101	4523	98	4523	82	24.0	25.9	24.2	23.6	
" 6.	4330	47	104	1050	132	6341	68	100	5130	98	5130	68	24.0	25.4	24.0	23.5	
" 7.	2010	39	102	4280	126	3630	33	100	3474	97	3474	33	23.6	24.9	24.0	23.5	
" 8.	8200	13	101	5320	132	5482	59	99	5800	97	5800	59	23.6	24.5	23.6	23.3	
" 9.	1155	38	100	4630	126	4830	18	99	3520	97	3520	18	23.6	24.0	23.5	23.3	
" 10.	5806	56	100	3892	87	3750	66	98	4612	96	4612	66	23.5	24.0	23.5	23.3	
" 11.	1826	8	99	1825	36	6400	29	98	3780	96	3780	29	23.5	23.5	23.5	23.3	
" 12.	3500	15	98	2320	51	3490	47	98	3086	96	3086	47	23.5	23.5	23.5	23.3	
" 13.	2502	4	98	4221	27	5260	52	97	3500	95	3500	52	23.3	23.3	23.0	23.0	

Die Versuche zeigten also, daß die oligodynamischen Metalle die reinigende Wirkung der langsamen Sandfiltration gut verbessern oder ergänzen. Woher die Verminderung der Keimzahlen kommt, geht aus der Tatsache hervor, daß der Kontrollfilter (Filter D), bei dem kein Metallpulver ausgestreut wurde, nicht die hochgradige Verminderung der Keimzahlen im filtrierten Wasser aufwies, wie die anderen Filter.

In diesen Versuchen kann die Wassergeschwindigkeit bei einer täglichen Wasserlieferung von etwa 25 Liter als 1 Liter pro Stunde angesetzt werden. Im Laufe der einzelnen Versuche nahm die Berührungsdauer stets etwas zu, wenn auch nur sehr wenig, da mit geringer werdendem Druck die Durchflußgeschwindigkeit etwas abnahm.

Das Ergebnis war also eine außerordentliche Keimverminderung in sämtlichen Fällen und dies ist in Anbetracht der enorm hohen Keimzahlen, mit denen wir zuerst arbeiteten, als überraschend günstig anzusehen.

Da wir jedoch niemals ein absolut keimfreies Wasser erhielten, so wählten wir eine etwas größere Menge Metall um einen besseren Erfolg erzielen zu können. Die Menge der zugesetzten Testbakterien blieb dabei ungefähr die gleiche.

Die Ergebnisse sind aus Tabelle 7 ersichtlich.

Kurze Zusammenfassung.

1. Die langsame Sandfiltration bewirkt, daß die Bakterien des Rohwassers bis zu einem gewissen Grade zurückgehalten werden, ohne es jedoch immer keimfrei zu machen. Durch das Metallpulververfahren kann man die langsame Sandfiltration verbessern.

2. Die Stärke der keimtötenden Wirkung der 3 Metallarten nimmt in der Reihenfolge von Kupfer, Gold und Silber ab.

3. Gegenüber den früher verwandten oligodynamischen Metallen ist das Metallpulver, was den Zeitfaktor der Aktivierung anbelangt, wesentlich wirksamer. Nach Krause²⁶⁾, verleiht schon nach einigen Stunden oder schon bei der Durchrieselung ein mit oligodynamischem Silber ausgestatteter Filter, dem Wasser eine beträchtliche bakterizide Kraft. Diese Steigerung im Zeitfaktor der Aktivierung hat eine besonders praktische Bedeutung, weil dem Wasser, welches durch den oligodynamisch geladenen Filter geflossen ist, eine nachsterilisierende Kraft gegenüber solchen Keimen verliehen wird, die zufällig die Filter passiert haben. Es wird so für die Filtrierung des Wassers ein neuer Sicherheitsfaktor eingeführt. Für diese Wirkungssteigerung kommen drei Faktoren in Betracht: a. mechanische

Filterwirkung, b. oligodynamische Zerstörung der in den Filter hineingeratenen Keime, c. aktivierende Wirkung der oligodynamischen Filter auf das durchlaufende Wasser, die zu einer Nachsterilisierung der eventuell durch den Filter hindurchgelangten Keime führt.

4. Wie im Vorstehenden gezeigt worden ist, hat das Katadynverfahren neue und gute Wege zu Wassersterilisierungszwecken gezeigt, weil dieses in niedrigen Temperaturen wirksam und deshalb in jedem Klima anwendbar ist. Das sterilisierte Wasser erleidet durch das Verfahren weder im Aussehen und Geschmack noch im Geruch eine Einbuße. Es ist im Gegenteil sauerstoffreicher und schmeckt dadurch sogar frischer als unbehandeltes Wasser. Durch den Prozeß gelangen keine für den menschlichen Organismus schädlichen Stoffe in das Wasser. Jahrelange klinische- und Tierversuche geben Garantie dafür. Das aktivierte Wasser behält seine Sterilität auch dann, wenn man es mehrere Millionen Keime pro cc behält, da solche Einsaaten nach kürzerer Zeit getötet werden.

5. Das Verfahren kann praktisch auf beliebige Wassermengen angewandt werden. Die Wasserqualität spielt, wie gezeigt, dabei nur insofern eine Rolle, als bei einem Wasser, das viel Schwebestoff enthält, eine geeignete Vorfiltrierung oder Ausfällung dieser Stoffe in bekannter Weise stattfinden muß. Ist etwa durch eine Betriebsstörung in der Vorfiltrierung die aktive Oberfläche des Metalls durch Schlammablagerung verringert worden, so genügen mechanische Reinigung oder Behandlung mit verdünnter Salzsäure, je nach der Art der Ablagerung auf dem Metall um ihm alsbald seine volle Wirksamkeit wieder zu geben.

6. Wenn ich täglich etwa 25 L Wasser abfiltrierte, so habe ich keinerlei Verlangsamung der Schnelligkeit oder Abschwächung der Filterwirkung bemerkt.

Schluß.

1. Die bakterizide Wirkung des Metalls wird beeinflusst durch Licht. Diese Erscheinung wird am deutlichsten beobachtet bei Versuchen mit oligodynamischem Metallpulver.

2. Wenn man das bakterienvernichtende Metallpulver bei langsamer Sandfiltration verwenden will, so muß dieses Metall in Pulverform auf die Filterhaut gestreut werden. Durch dieses Verfahren kann man die Keimzahl des Filtrates viel stärker vermindern als im Falle, wo kein Metall zur Verwendung kommt.

596 S. Tohma: Untersuchungen über die oligodynamische Wirkung usw.

Zum Schluß bleibt mir nur noch die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. *M. Ogata*, dessen überaus liebenswürdiger, hochherziger Unterstützung ich in jeder Beziehung wertvolle Anregung verdanke, und ebenso Herrn Dr. *T. Inoue*, Dozent am hiesigen hygienischen Institut, meinen herzlichen Dank auszudrücken.

Literatur.

- ¹ *Miller*, zit. nach v. *Behring*. — ² *Schill*, Jahresber. d. Ges. f. Natur- u. Heilkunde, Dresden 1891/92. — ³ *Israel* u. *Klingmann*, Virchows Archiv 180. — ⁴ *Behring*, Desinfektionslehre 1913. — ⁵ *Natoneck* u. *Reitmann*, Zeitschr. f. Hyg. Bd. 79, 1915. — ⁶ *Messerschmidt*, Zeitschr. f. Hyg. Bd. 82. — ⁷ *Saxl*, Wiener. klin. Wochenschr. 1917, S. 714, 965, u. 1426. — ⁸ *Blondlot*, zit. n. Mayer, Bl. N-Strahlen, 1904. — ⁹ *Pfeiffer* u. *Kadletz*, Wien. klin. Wochenschr. 1917, S. 1221 u. 998. — ¹⁰ *Baumgarten* u. *Luger*, Wien. klin. Wochenschr. 1917, S. 1222, 1224 u. 1259 und 1918, S. 188. — ¹¹ *Doerr*, Biochem. Zeitschr. Bd. 106, 107 u. 113. — ¹² *Bail*, Wien. klin. Wochenschr. 1919, S. 751. — ¹³ *Löhner*, Med. Feldblatt d. 10. Armee 1917, S. 10. — ¹⁴ *Salus*, Wien. klin. Wochenschr. 1919, S. 1220. — ¹⁵ *Spaet*, ebenda, 1920, S. 509. — ¹⁶ *Süpfle*, Münch. med. Wochenschr. 1920, S. 1166. — ¹⁷ *Händel* u. *Segal*, Zeitschr. f. Hyg. Bd. 97, S. 1. — ¹⁸ *Piefke*, Journ. f. Gasbel. u. Wasservers 1887, S. 596. — ¹⁹ *Kraemer*, Amer. Journ. of pharm. 1906. — ²⁰ *Saxl*, Wien. klin. Wochenschr. 1919, S. 975. — ²¹ *Reinsch*, Zentralbl. f. Bakt. Bd. 16, S. 881, 1894. — ²² *Hazen*, The Filtration of Public Water Supplies, New-York, John Wiley u. Sons. — ²³ *Fuertes*, Water Filtration Works, ebenda. — ²⁴ *Imbeaux*, L'alimentation en eau et l'assainissement des villes, Vil. 1, Paris 1902, P. 140. — ²⁵ *Koenig, J.*, Die Verunreinigung der Gewässer 2. Aufl. Bd. 1, S. 110, Berlin. — ²⁶ *Krause*, Neue Wege zur Wassersterilisierung 1928.