

[Aus dem Institut für Hygiene und Bakteriologie der Universität Bern.]
(Direktor: Prof. Dr. W. Kolle.)

Über die Sterilisation von Wasser durch ultraviolette Strahlen.

Von

A. Silbermann,

Assistent am hygienischen Institut in Kairo.

Das Grundwasser kann als keimfrei betrachtet werden, enthält jedenfalls keine pathogenen Keime und stellt bezüglich der Infektionsgefahr stets das idealste Wasser für Trinkzwecke dar. Anders die Oberflächenwasser, die durch atmosphärische Niederschläge, eingeleitete Abwässer und tierische Exkretions- und Zersetzungsprodukte verunreinigt werden und Krankheitserreger enthalten können. Das Oberflächenwasser ist deshalb als Trinkwasser nur dann zuzulassen, wenn es von den Verunreinigungen, die zum Teil größere suspendierte Bestandteile darstellen, zum Teil pathogene Mikroorganismen, befreit werden kann. Alle Verfahren, die hygienisch für wertvoll angesehen werden können, müssen diese Bedingung erfüllen.

Die Sandfilter, die eine vorzügliche Reinigung des Wassers bezüglich der gröberen suspendierten Bestandteile gestatten, sind für Mikroorganismen nicht vollkommen undurchlässig. Es werden durch das Sandfilterverfahren bei gutem Betrieb die Mehrzahl aller im Rohwasser enthaltenen Keime zurückgehalten. Niemals besteht jedoch die absolute Garantie, daß nicht doch etwaige im Rohwasser enthaltene Infektionserreger die filtrierenden Schichten passieren und so in das Reinwasser gelangen. Die Entstehung von Epidemien durch filtriertes Oberflächenwasser, wenn die Filtrationsgeschwindigkeit zu groß ist, oder andere Unregelmäßigkeiten das Funktionieren der Filter beeinträchtigen, ist zu bekannt, als daß es einer eingehenderen Begründung bedürfte.

Auch bei Verwendung von anderen Methoden, zum Teil in Verbindung mit den Sandfiltern, z. B. von Fällungsmethoden (Kalk, Alaun, Eisensulfat) ist die Sicherheit, daß aus dem Rohwasser etwa in ihm vorhandene pathogene Keime mit entfernt werden, nicht vorhanden. Das gleiche gilt für die Hausbakterienfilter, die als Laboratoriumsfilter kurze Zeit keimfreies Wasser liefern. Diese Filter können von Keimen allmählich durchwachsen werden, so daß auch die Hausbakterienfilter, abgesehen von anderen Nachteilen, eine allgemeine hygienische Bedeutung zur Gewinnung von Wasser, das sicher frei von pathogenen Keimen ist, aus Oberflächenwasser nicht haben.

In neuerer Zeit sind nun andere Methoden vorgeschlagen worden, um ein Oberflächenwasser bezüglich der Infektionserreger in ein absolut einwandfreies Trinkwasser zu verwandeln. Es kommen hier in Frage: Das Sterilisieren des Wassers durch Kochen, die Behandlung mit chemisch-desinfizierenden Mitteln und die Sterilisation durch ultraviolette Licht. Das Bestreben der Hygieniker geht bei Prüfung dieser Methoden dahin, durch die Behandlung des Wassers nicht nur die gewöhnlichen Darminfektions-Erreger, die relativ leicht abzutöten sind, wie Cholera-Vibrionen, im Wasser zu vernichten, sondern auch das Oberflächenwasser in ein dem Grundwasser bezüglich des Keimgehaltes gleiches, d. h. keimfreies Wasser zu verwandeln. Für diese Zwecke ist das Kochen des Wassers wohl ein zuverlässiges Mittel, wenigstens wenn von sehr widerstandsfähigen Sporen, z. B. dem *Bacillus subtilis*, abgesehen wird. Das Verfahren hat aber den Nachteil, daß dabei die chemische Zusammensetzung und der Geschmack des Wassers verändert werden. Abgesehen von dem Kochgeschmack ist deshalb das Wasser für viele Leute wegen seines veränderten Salzgehaltes nicht zu tráglich. Außerdem können natürlich nicht große Wasserleitungen mit gekochtem Wasser gespeist werden. Daß das Publikum selbst in Epidemiezeiten trotz strenger Vorschriften das Abkochen des Wassers im Hause oft unterläßt, ist bekannt.

Für die Sterilisation großer Wassermengen kommen daher gegenwärtig nur drei Mittel in Betracht: der Chlorkalk, das Ozon und die ultravioletten Strahlen.

Was das Chlorkalkverfahren anbetrifft, so sind damit zahlreiche Versuche in allen Weltteilen gemacht worden, mit sehr verschiedenen Resultaten. Die Beschaffenheit des Wassers, der Gehalt an organischen Bestandteilen, die Temperatur usw. spielen natürlich bei einer Behandlung mit Chemikalien und auch mit dem Chlorkalk eine große Rolle. Nach Untersuchungen, die eine Reihe von Jahren durch Prof. Bitter und unter

seiner Leitung von mir im hygienischen Institut in Kairo gemacht wurden, kann als bewiesen gelten, daß gerade für Kairo das Chlorkalkverfahren gute Resultate bezüglich des Keimgehaltes gibt und bei genügender Kontrolle ein pathogen keimfreies Wasser liefert.

Die Sterilisation mit Ozon ist sehr kostspielig und hat den Nachteil, daß mit dem behandelten Wasser große Mengen aktiven Sauerstoffs in den Magen gelangen. Der Geschmack des Wassers ist außerdem nicht unwesentlich verändert. Sobald das Wasser größere bakterienhaltige Partikel enthält, läßt das Verfahren im Stich.

Die genannten Verfahren haben gewisse Nachteile: sie sind teils ziemlich kostspielig und umständlich, wie z. B. das Ozonverfahren und das Kochen des Wassers, oder sie verändern das Wasser chemisch relativ stark, was für alle drei genannten Verfahren Richtigkeit hat.

Aus allen diesen Gründen verdient jedenfalls ein Verfahren weitere Prüfung und Ausgestaltung seitens der Hygieniker und Techniker, das neuerdings in Laboratoriumsversuchen hauptsächlich studiert worden ist, nämlich die Sterilisation des Wassers mittelst ultravioletter Strahlen.

Herr Prof. Kolle hat mir gestattet, die Versuche unter seiner Kontrolle fortzusetzen, die im Berner hygienischen Institut durch M. Oker-Blom und durch O. Stiner mit der Quecksilberdampfquarzlampe, System Nogier-Triquet, ausgeführt wurden. Ich benutze die Gelegenheit, Hrn. Prof. Kolle für die Zuweisung der interessanten Arbeit meinen Dank auszusprechen, wie auch Hrn. Dr. Stiner für die Überlassung des Apparates und seine freundliche Hilfe.

Seitdem die keimtötende Wirkung des ultravioletten Lichtes bekannt ist, sind von verschiedenen Autoren vereinzelte Versuche gemacht worden, diese Wirkung für die Sterilisation von Wasser nutzbar zu machen. Systematische Untersuchungen mit speziell zu diesem Zwecke konstruierten Apparaten sind aber erst von Courmont und Nogier angestellt worden. Die Versuche wurden ausgeführt mit einer nach den Angaben von Nogier konstruierten Quecksilberdampfquarzlampe. Courmont und Nogier verwendeten als Testbakterien *Bacterium coli*, Leuchtvibrionen, *Bac. prodigiosus*. Von anderen Autoren wurden auch pathogene Bazillen zu den Versuchen herangezogen. Courmont stellt als Bedingung für die volle Wirksamkeit des Verfahrens das Postulat auf, daß das zu sterilisierende Wasser klar ist und nicht zu viel kolloide Substanzen enthält. Von anderen Autoren (Müller, Grimm und Weldert, Oker-Blom) sind dann noch weitere Faktoren angegeben worden, die die Wirksamkeit des Verfahrens beeinflussen können, so die Durchflußgeschwindigkeit des Wassers durch den

Apparat (Müller), der Trübungs- und Färbungsgrad des Wassers (Grimm und Weldert, Oker-Blom), die Voltage des elektrischen Stromes, die Entfernung von der Lichtquelle (Courmont und Nogier). Den letztgenannten Faktor hat Nogier in sehr einfacher Weise ausgeschaltet, indem er das zu sterilisierende Wasser das Leuchtrohr umspülen läßt, im Gegensatz zu den anderen bekannten Systemen von Quarzlampen.

In meinen Versuchen habe ich alle Faktoren, die die Wirkung der Strahlen beeinflussen können, eingehend berücksichtigt.

Die Durchflußgeschwindigkeit wurde für jeden Versuch genau festgestellt.

Der Trübungsgrad wurde an Hand der Snellenschen Probe 1 festgestellt durch Messen der Höhe der Wassersäule, durch die hindurch die Probe eben noch deutlich zu sehen war.

Die Färbung wurde durch Vergleich mit einer alkoholischen Vesuvinslösung verifiziert (Oker-Blom).

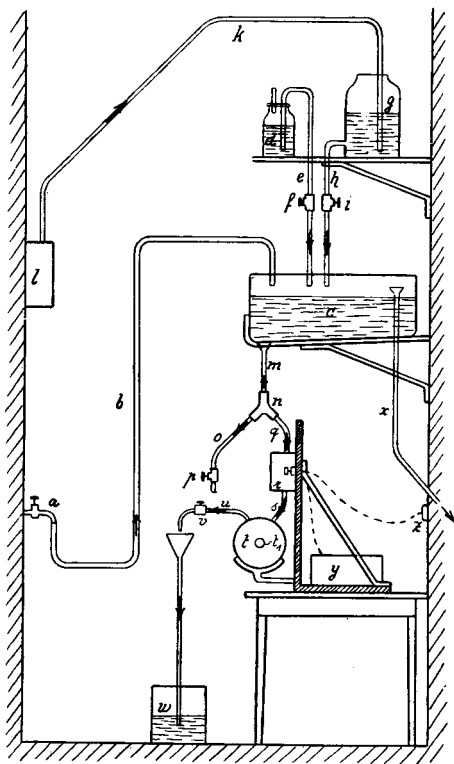
Was die Stromstärke anbetrifft, so konnten wir für die im Institut aufgestellten zwei Lampen konstatieren, daß eine niedrigere Spannung und geringere Stromstärke als die von der Verkaufsfirma angegebenen bessere Resultate liefert. Daraus erklärt sich, daß die Ergebnisse meiner Versuche für das System günstiger ausgefallen sind, als diejenigen Oker-Blom's, dessen Apparat noch nach den Angaben der Firma eingestellt war. Als günstigste Stromverhältnisse fanden wir eine Spannung von etwa 35 Volt und eine Stromstärke von etwa 4.5 Amperes. Bei meinen Versuchen wurden bei jeder Probeentnahme stets die Stromverhältnisse mittelst Volt- und Amperemeter genau kontrolliert.

Bei der Herstellung künstlich getrübbten bzw. gefärbten Wassers habe ich mich genau an die Angaben Oker-Blom's gehalten. Die Trübungsskala wurde durch Mischung des Wassers mit bestimmten Mengen von Bariumsulfat gewonnen. Es wurde ein Gramm Bariumchlorid (BaCl_2) in 1 Liter Wasser gelöst und dann durch Hinzufügen einer äquivalenten Menge Schwefelsäure als Bariumsulfat BaSO_4 ausgefällt. Durch Zugabe von je 1, 2, 3, 10, 20, 30^{ccm} usw. dieser Standardaufschwemmung zu 1 Liter Wasser erhielt man Wasser von verschiedenen steigenden Trübungsgraden. Die Trübungsgrade wurden dadurch bestimmt, daß man im Glaszylinder die Höhe der Flüssigkeitssäule ermittelte, durch die hindurch die Snellensche Sehprobe Nr. 1 noch deutlich gesehen werden kann. Meine Ablesungen decken sich mit der folgenden, von Oker-Blom aufgestellten Tabelle:

BaCl ₂ auf 1 Liter	entspricht:	Durchsichtigkeitshöhe von
0.05 ^{gram}		7.2 ^{cm}
0.06 „		6.4 „
0.07 „		5.5 „
0.08 „		4.6 „
0.09 „		4.1 „
0.1 „		3.9 „

Zur Bestimmung des Färbungsgrades des Wassers wurde Vesuvinfarbstoff benutzt und zwar ebenfalls in einer Reihe skalenartig hergestellter Verdünnungen. Eine konzentrierte, alkoholische Vesuvinlösung wurde derart hergestellt: Das Vesuvin wurde im Überschuß mit absolutem Alkohol gekocht, 6 Tage bei gewöhnlicher Zimmertemperatur stehen gelassen und dann abfiltriert; 1^{cem} dieser Lösung in 1 Liter Wasser gelöst, diente als Standardlösung. Mit dieser wäßrigen Vesuvinlösung wurden darauf die betreffenden Verdünnungen mit zunehmendem Färbeton hergestellt, indem wiederum 1, 2, 3^{cem} usw. auf je 1 Liter Wasser genommen wurden. Die Prüfungen wurden in durchfallendem Licht und in gleich weiten Zylindern vorgenommen. Die Testbakterien wurden aus 1 bis 2 Tage alten Agarkulturen genommen, und die hergestellte Standardaufschwemmung wurde stets zur Vermeidung von Bakterienklümpehen mit Glasperlen längere Zeit geschüttelt, so daß die Keime mechanisch möglichst voneinander getrennt wurden. Meine Versuche wurden mit dem Trinkwassersterilisatorsystem Nogier-Triquet Type M. 5 angestellt. Schwarz und Aumann haben in ihrer Arbeit diesen Apparat genau beschrieben. Die Lampe brannte bei einer Spannung von 35 bis 40 Volt, wobei der Stromverbrauch bei jedem Versuch angegeben ist. Das zu bestrahlende Wasser wurde durch einen direkt an die Leitung angeschlossenen Schlauch in einen in einer Höhe von etwa 1.2^m über dem Apparat stehenden Trichter hineingeleitet. Dieser Trichter, der gleichzeitig als Mischapparat für Bakterien, Trübungen und Färbungen diente, war direkt mit dem Apparat verbunden — wie aus der beigegebenen Zeichnung ersichtlich ist — und gleichzeitig mit einem Kontrollhahn versehen, aus dem man zu jeder beliebigen Zeit während des Versuches die Kontrollen entnehmen konnte. Oberhalb des genannten Trichters war auf einem Gestell eine mit Bakterienaufschwemmung gefüllte Flasche angebracht, aus der konstant aus einem Regulierhahn die Bakterien in den Trichter tropften und sich mit dem dorthin fließenden Wasser vermischten. Für die Trübung befand sich in ungefähr gleicher Höhe wie der Trichter ein anderer Behälter, der mit Trübungsmaterial gefüllt war. Damit diese Trübung sich gleichmäßig verteilen und nicht auf den Boden des Behälters sinken konnte, habe ich ein Rohr bis zum

Boden des Behälters geleitet, das mit einem Gebläse in Verbindung stand und durch Einpressung von Luft mittels der Wasserpumpe die Trübungsmasse in ständiger, wirbelnder Bewegung erhält. Die Farbflüssigkeit konnte in demselben Behälter in dem Trichter mit Wasser vermisch werden.



- a) Wasserleitungshahn.
- b) Leitungsschlauch zum Trichter.
- c) Trichter.
- d) Flasche mit Bakterienaufschwemmung.
- e) Leitungsrohr von der Flasche zum Trichter.
- f) Regulierhahn.
- g) Flasche mit Trübungsmaterial bzw. Färbungsmaterial.
- h) Leitungsrohr zum Trichter.
- i) Regulierhahn.
- k) Leitungsrohr, durch welches die Luft in die Trübungsflasche eingepreßt wird.
- l) Gebläse.
- m) Rohr, durch welches das getrübbte und infizierte Wasser vom Trichter abgeleitet wird.
- n) Rohr mit 3 Öffnungen.
- o) Rohr zum Kontrollhahn, wo die Kontrollproben entnommen wurden.
- p) Kontrollhahn.
- q) Schlauch, der zum Sterilisationsapparat führt.
- r) Ventil des Apparates.
- s) Verbindungsrohr vom Ventil zum Apparat.
- t) Sterilisationsapparat.
- u) Quecksilberquarzlampe.
- v) Ableitungsrohr für das steril. Wasser.
- w) Hahn.
- x) Trichter, der das sterilisierte Wasser abführt.
- y) Sicherheitsrohr zum Trichter, welcher event. überfließendes Wasser weggleitet.
- z) Elektrisch. Widerstand zum Apparat.
- z) Elektrischer Kontakt.

Versuchseinteilung:

Meine Versuche, die nach einem von Hrn. Prof. Kolle aufgestellten Programme ausgeführt und von den Herren Prof. Kolle und Dr. Stiner kontrolliert wurden, zerfallen in drei Gruppen:

1. Die Nachprüfungen der Arbeiten über Trinkwassersterilisation (klares, trübes und gefärbtes Wasser) zu Trinkzwecken.

2. Sterilisation von mit Jauche vermischtem Wasser mit und ohne vorherige Klärung durch Fällungsmittel (für Militärzwecke, wo man im Notfall direkt gezwungen ist, auch unreines Wasser zu verwenden).

3. Sterilisation von Wasser, das resistente Keime enthält, besonders resistente Staphylokokken, Tetanus, die Frankfurter Subtilissporen usw., für chirurgische Zwecke (für Kliniken, Hospitäler usw).

Vorversuch:

12 Liter Wasser werden mit Ton getrübt; der Trübungsgrad entspricht 0.05^{cem} $BaSO_4$ per Liter. Das Wasser wird mit *Bacterium coli* infiziert und durch den Sterilisationsapparat, bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 90 bis 100 Liter in der Stunde, durchgelassen. Vom bestrahlten Wasser wurden Proben entnommen, nachdem der Apparat im Betrieb war: 2, 4 und $5\frac{1}{2}$ Minuten, und eine Kontrolle des infizierten getrühten Wassers vor der Bestrahlung. Die Platten wurden nach 24 Stunden und nach 3 Tagen gezählt.

Resultat:	nach 24 Stunden:	nach 3 Tagen:
Kontrolle per Kubikzentimeter	64000	64000
Probe nach 2 Minuten	steril	steril
„ „ 4 „	„	„
„ „ $5\frac{1}{2}$ „	„	„

Aus diesem Vorversuch geht hervor, daß bei mit Ton getrühtem Wasser ein guter Sterilisationseffekt erzielt werden kann.

Versuch:

Bei sämtlichen folgenden Versuchen wurde, wenn nichts anderes angegeben ist, der obengenannte Mischapparat verwendet.

In Versuch I war das Wasser klar, mit etwa 50000 *Bacterium coli* per Kubikzentimeter infiziert und hatte eine Durchflußgeschwindigkeit, bei der 90, 150 und 180 Liter von dem Apparat geliefert wurden.

Wie aus dem Versuch I hervorgeht, blieben auch die Anreicherungskölbchen mit 25^{cem} des bestrahlten Wassers, bei 3tägigem Aufenthalt im Brutofen, steril.

Da der erste Versuch mit klarem Wasser trotz des Keimgehaltes gut ausgefallen war, ging ich dann daran, festzustellen, wie sich infiziertes und mit Ton gefärbtes Wasser gegenüber den ultravioletten Strahlen verhalten werde.

Der Versuch II war in vier Serien eingeteilt: Die Durchflußgeschwindigkeiten waren 90, 120, 150 und 180 Liter per Stunde. Wie aus Versuch II hervorgeht, fielen auch bei stark getrühtem Wasser, das in der Praxis kaum noch trinkbar ist, die Resultate sehr gut aus.

Probentnahme, nachdem der Apparat im Betrieb gewesen	Volt	Ampère	K e i m z a h l (in 5 cem)				Resultat der Peptonanreicherung (25 cem)			
			A.		B.		Nach 2 Tagen		Wasser- bakterien	
			Nach 24 Stunden	Nach 3 Tagen	Bact. coli	Wasser- bakterien	Bact. coli	Endo- platten		
Serie I mit ca. 50 000 Bact. coli pro Kubikzentimeter infiziert, Durchflußge- schwindigkeit 90 bis 100 Liter pro Stunde. Versuchsdauer 9 bis 10 Stunden.	5 Minuten	40.0	4.5	steril	steril	Bact. coli	Wasser- bakterien	steril	steril	
	10 "	35.0	4.5	"	"	"	"	"	"	
	15 "	35.0	4.4	"	"	"	"	"	"	
Serie II mit ca. 50 000 Bact. coli pro Kubikzentimeter infiziert, Durchflußge- schwindigkeit 130 bis 140 Liter pro Stunde.	5 Minuten	35.0	4.4	steril	steril	steril	steril	steril	steril	
	10 "	40.0	4.5	"	"	"	"	"	"	
	15 "	37.5	4.2	"	"	"	"	"	"	
Serie III mit ca. 46 000 Bact. coli pro Kubikzentimeter infiziert, Durchflußge- schwindigkeit 180 Liter pro Stunde.	5 Minuten	35.0	4.5	steril	steril	steril	steril	steril	steril	
	10 "	35.0	4.5	"	"	"	"	"	"	
	15 "	37.5	4.2	"	"	"	"	"	"	

Versuch II. Trübes Wasser.

	Trübungs- grad des zu behandelnden Wassers	Probe- entnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Volt	Ampère	K e i m z a h l (in 5 cem)				Resultat der Pepton- anreicherung (25 cem)	
					A. Nach 24 Stunden	B. Nach 3 Tagen	B. Nach 3 Tagen	B. Nach 3 Tagen		
					Bact. coli	Wasser- bakterien	Bact. coli	Wasser- bakterien	Drigalski	Endo- platten
Serie I										
mit ca. 54 000 Bact. coli pro Kubikzentimeter infiziert. Durchfluß- geschwindigkeit 120 Liter pro Stunde	Trübung ent- spricht 0.10 ^{cem} BaCl ₂ i. L. Durchsichtig- keitshöhe D 14.0 ^{cem}	5 Minuten 10 " 15 "	35.0 35.0 35.0	4.5 4.5 4.5	steril " "	steril " "	steril " "	— steril —	steril " "	steril " "
Serie II										
mit ca. 51 000 Bact. coli pro Kubikzentimeter infiziert. Durchfluß- geschwindigkeit 90 Liter pro Stunde	Trübung ent- spricht 0.10 ^{cem} BaCl ₂ i. L. Durchsichtig- keitshöhe 3.9 ^{cem}	5 Minuten 10 " 15 "	36.0 37.0 35.0	4.5 4.4 4.5	steril " "	steril " "	steril " "	steril " "	steril " "	steril " "
Serie III										
mit ca. 46 000 Bact. coli pro Kubikzentimeter infiziert. Durchfluß- geschwindigkeit 150 Liter pro Stunde	Trübung ent- spricht 0.10 ^{cem} BaCl ₂ i. L. Durchsichtig- keitshöhe 3.9 ^{cem}	5 Minuten 10 " 15 "	40.0 40.0 41.0	4.1 4.1 4.1	steril " 46080	steril " —	steril " —	— steril —	steril " —	steril " —
Serie IV										
mit ca. 50 000 Bact. coli pro Kubikzentimeter infiziert. Durchfluß- geschwindigkeit 180 Liter pro Stunde	Trübung ent- spricht 0.10 ^{cem} BaCl ₂ i. L. Durchsichtig- keitshöhe 3.9 ^{cem}	5 Minuten 10 " 15 "	40.0 41.0 37.5	4.1 4.1 4.2	steril " "	steril " "	steril " "	steril — steril	steril " "	steril " "

Versuch III. Klares Wasser.

	Probentnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Volt	Ampère	Keimzahl der Probe (in 5 ccm)				Resultat der Anreicherung (25 ccm)			
				A. Nach 24 Std.		B. Nach 3 Tagen	Wasserbakterien	Nach 2 bis 3 Tagen		Wasserbakterien	
				Bacterium coli	Wasserbacterium			Endo-Platten	Bacterium coli		
Serie I											
mit ca. 600 000 Bacterium coli pro 1 ccm infiziert. Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde	5 Minuten	33	4.4	steril	steril	steril	steril	steril	steril	steril	steril
	10 "	33	4.5	"	"	"	"	"	"	"	"
	15 "	35	4.4	"	"	"	"	"	"	"	"
Serie II											
mit ca. 500 000 Bacterium coli pro 1 ccm infiziert. Durchflußgeschwindigkeit 150 Liter pro Stunde	5 Minuten	35	4.5	steril	steril	steril	steril	steril	steril	steril	steril
	10 "	35	4.2	"	"	"	"	"	"	"	"
	15 "	35	4.2	"	"	"	"	"	"	"	"
Serie III											
mit ca. 400 000 Bacterium coli pro 1 ccm injiziert. Durchflußgeschwindigkeit 180 Liter pro Stunde	5 Minuten	37	4.2	steril	steril	steril	steril	steril	steril	steril	steril
	10 "	35	4.2	"	"	"	"	—	—	"	"
	15 "	35	4.2	"	"	"	"	—	—	"	"

Jetzt handelte es sich darum, festzustellen, ob bei erhöhter Bakterienzahl noch immer der gleiche gute Sterilisationseffekt erreicht wird.

Wie aus Versuch III ersichtlich ist, sind trotz des großen Keimgehaltes (1000000 pro Kubikzentimeter) die Proben steril ausgefallen.

Die Wirkung der Strahlen auf stark getrübbtes Wasser, das praktisch als Trinkwasser nicht mehr in Frage kommt, zeigt Versuch IV.

Trotz der außerordentlich starken Trübung sind wiederum die Keime restlos abgetötet worden.

Es hat somit den Anschein, daß weder Trübung bis zu ziemlich hohem Grade, noch hoher Keimgehalt einen merklichen Einfluß auf die keimvernichtende Wirkung der ultravioletten Strahlen ausübt.

Höhere Trübungsgrade, als der in Versuch IV angewandte, kommen für Trinkwasser überhaupt nicht in Betracht; ich habe deshalb von Versuchen mit noch trüberem Wasser abgesehen. Mit der Keimzahl aber dachte ich noch höher zu gehen.

Versuch V zeigt, daß auch bei ganz hohen Keimzahlen (2000000 pro Kubikzentimeter) die Strahlen ihre Wirkung nicht einbüßen.

Bei dem mit der hohen Keimzahl von etwa **20000000 Keimen per Kubikzentimeter** ausgeführten Versuch VI sind die Ergebnisse dieselben wie bei Versuch V. Die mit den Proben beschickten Platten und Anreicherungskölbchen blieben steril.

Daß Färbungen, wie sie Wässer aus Torfboden z. B. zeigen, die sterilisierende Wirkung des ultravioletten Lichtes beeinflussen, wurde von Grimm und Weldert, sowie von Oker-Blom nachgewiesen.

In Versuch VII habe ich eine Anordnung gewählt, die in bezug auf Färbungsgrad und Keimgehalt wohl das Maximum von Verunreinigung zeigt, die bei einem zu Trinkzwecken bestimmten Wasser praktisch anzunehmen sind. Als Färbungsgrad wurde ein Torfauszug gewählt, der tinktoriell einer Lösung von drei Teilen konzentrierter, alkoholischer Vesuvinslösung auf 100000 Teile Wasser entsprach. Die Keimzahl war 1000000 bis 1200000 pro Kubikzentimeter. Das Resultat war stets dasselbe: alle mit den bestrahlten Proben beschickten Nährböden blieben steril.

Versuch VIII und IX sind mit dem *Vibrio El Tor* angestellt, um die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf pathogene Keime festzustellen. Der *Vibrio El Tor* ist ein Choleravibrio, der seine Pathogenität für Menschen verloren hat und deshalb für Versuche geeigneter ist als virulente Vibrionen. Bei Keimzahlen von etwa 10000000 pro Kubikzentimeter wurden alle Vibrionen glatt abgetötet bei den gewöhnlichen Durchflußgeschwindigkeiten.

Versuch V. Klares Wasser.

	Probe- entnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Volt	Ampère	Keimzahl der Probe (5 ^{cum})				Resultate der Anreicherung (20 ^{cum})		
				A. Nach 24 Stunden		B. Nach 3 Tagen		Nach 4 Tagen		
				Bact. coli	Wasser- bakterien	Bact. coli	Wasser- bakterien	Endo- platten	Drigalski	Wasser- bakterien
Serie I mit ca. 2000000 Bact. coli pro Kubikzenti- meter. Durchflußge- meter. Durchflußge- windigkeit 90 Liter pro Stunde	5 Minuten	35	4.5	steril	steril	steril	steril	steril	steril	steril
	10 "	35	4.5	"	"	"	"	"	"	"
Serie II mit ca. 2000000 Bact. coli pro Kubikzenti- meter. Durchflußge- meter. Durchflußge- windigkeit 180 Liter pro Stunde	5 Minuten	40	4.2	steril	steril	steril	steril	steril	steril	steril
	10 "	37	4.4	"	"	"	"	"	"	"

Versuch VI. Klares Wasser.

	Probeentnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Volt	Ampère	Keimzahl der Probe (5 ^{cum})				Resultate der Anreicherung (20 ^{cum})	
				A. Nach 24 Stunden		B. Nach 3 Tagen		Nach 4 Tagen	
				Bact. coli	Andere Bakterien	Bact. coli	Andere Bakterien	Endo- platten	Drigalski
Serie I mit ca. 20000000 Bact. coli pro Kubikzenti- meter infiziert. Durch- flußgeschwindigkeit. 90 Liter pro Stunde	5 Minuten	35	4.3	steril	steril	steril	steril	steril	steril
	6 "	35	4.4	"	"	"	"	"	"
	7 "	35	4.3	"	"	"	"	"	"
Serie II mit ca. 25000000 Bact. coli pro Kubikzenti- meter infiziert. Durch- flußgeschwindigkeit 180 Liter pro Stunde	5 Minuten	37	4.3	steril	steril	steril	steril	steril	steril
	6 "	40	4.1	"	"	"	"	"	"
	7 "	40	4.1	"	"	"	"	"	"

Versuch VIII.

	Probeentnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Keimzahl der Probe (5 ^{cem})		Pepton-Anreicherung (500 ^{cem})	
		A. Nach 24 Std.	B. Nach 3 Tgn.	A. Nach 24 Std.	B. Nach 3 Tgn.
Serie I					
mit Vibrio El-Tor infiziert (ca. 770 000 pro cem). Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde	5 Minuten	steril	steril	steril	steril
	10 "	"	"	"	"
	15 "	"	"	"	"
Serie II					
mit Vibrio El-Tor infiziert (ca. 640 000 pro cem). Durchflußgeschwindigkeit 180 Liter pro Stunde	5 Minuten	steril	steril	steril	steril
	10 "	"	"	"	"
	15 "	"	"	"	"

Versuch IX.

	Probeentnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Keimzahl der Probe (5 ^{cem})	
		A. Nach 24 Std.	B. Nach 3 Tgn.
Serie I			
mit Vibrio El-Tor infiziert (ca. 10000000 pro cem). Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde	5 Minuten	steril	steril
	10 "	"	"
	15 "	"	"
Serie II			
mit Vibrio El-Tor infiziert (ca. 10000000 pro cem). Durchflußgeschwindigkeit 180 Liter pro Stunde	5 Minuten	steril	steril
	10 "	"	"
	15 "	"	"

Die Verunreinigung der Oberflächenwässer durch Abwässer aller Art, im besonderen durch Einleitung von Kanalwässern usw. ist etwas sehr häufiges und naturgemäß für die Verwendung dieser Wässer zu Trinkzwecken etwas sehr störendes. Die folgenden Versuche sollen nun ein Bild geben vom Einfluß solcher Verunreinigungen auf die Sterilisationskraft des ultravioletten Lichtes. Es wurde das zu sterilisierende Wasser mit 10 Prozent Jauche vermischt, die je nach der Versuchsanordnung geklärt oder ungeklärt zur Verwendung kamen.

Versuch X.

Trübungsgrad des zu behandelnden Wassers	Probentnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Volt	Ampère	Keimzahl der Probe (5 cem) Nach 24 Std.		Resultat der Anreicherung (20 cem) Nach 4 Tagen	
				Coli-bakterien	Andere Bakterien	Endo-platten	Drigalski
Serie I. Mit Pferdejauche 1:10 versetzt. Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde	5 Minuten	37	4.2	—	16	+	+
	15 "	35	4.3	—	20	+	+
	20 "	37	4.2	—	20	+	+
Serie II. Mit Pferdejauche 1:10 versetzt. Durchflußgeschwindigkeit 180 Liter pro Stunde	5 Minuten	35	4.2	—	9.900	+	+
	10 "	37	4.2	—	6.900	+	+
	15 "	35	4.4	—	4.416	+	+
	20 "	35	4.4	—	1.472	+	+

Versuch XI.

Probentnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Volt	Ampère	Keimzahl der Probe (5 cem) Nach 24 Std.				Anreicherung (20 cem) Nach 4 Tgn.			
			A. Coli Dri-galski	Andere Bakterien	Agar	B. Coli Dri-galski	Andere Bakterien	Agar	Endo-platten	Drigalski
Serie I. Jauchewasser 1:10 versetzt, ca. 500 Coli- und ca. 10000 andere Bakterien pro cem. Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde.	5 Minuten	30	0	45	1	60	—	—	—	—
	10 "	30	4.4	200	12	210	—	—	—	—
Serie II. Jauchewasser 1:10 versetzt, ca. 500 Coli- u. ca. 19000 andere Bakterien pro cem. Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde	5 Minuten	40	4.1	25	1.104	30	1.120	—	—	—
	10 "	37	4.3	60	1.104	64	1.120	—	—	—
Serie III. Jauchewasser mit ca. 12 800 000 Colibakterien pro cem versetzt. Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde	5 Minuten	35	4.3	920	4.968	920	4.968	—	—	—
	10 "	35	4.4	920	5.520	920	5.520	—	—	—
Serie IV. Jauchewasser mit ca. 19000000 Colibakterien pro cem versetzt. Durchflußgeschwindigkeit 180 Liter pro Stunde.	5 Minuten	35	4.3	un-endl.	un-endl.	un-endl.	un-endl.	—	—	—
	10 "	35	4.4	endl.	endl.	endl.	endl.	—	—	—

In Versuch X wurde dem Wasser 10 Prozent ungeklärte Pferdejauche zugesetzt. Die Färbung der Mischung entsprach einer Färbung mit konzentrierter Vesuvinlösung 8:100000. Auf Drigalskiplatten wuchsen 100 Keime (Coli), auf Agar etwa 25 600 pro Kubikzentimeter. Der Sterilisationseffekt war, wie zu erwarten, kein glänzender. Bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 90 Liter in der Stunde wuchsen auf den mit 5^{ccm} beschickten Agarplatten noch 16 bis 20 Keime (von etwa 128000), auf Drigalskiplatten war das Wachstum erloschen. Bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 180 Liter stieg aber die Keimzahl der Proben bis auf etwa 1000.

In Versuch XI wurden dem mit Jauche verunreinigten Wasser Kolibazillen in größerer Menge zugesetzt, um zu sehen, ob diese vielleicht rascher abgetötet würden als die anderen Bakterien. Ein voller Sterilisationseffekt wurde trotz geringer Durchflußgeschwindigkeit nicht erzielt, sondern nur eine starke Abnahme der Keimzahl (von etwa 13000000 auf etwa 6000).

Ganz anders war das Verhalten nach Vorklärung der Jauche: Das Wasser, dem 20 Prozent Pferdejauche zugesetzt waren, enthielt etwa 2880000 Keime im Kubikzentimeter. Es wurde durch Beimischung von 0.1 Eisenchlorid pro Liter vorgeklärt und durch Flanell filtriert. Die Resultate waren überraschend gut.

In Versuch XII waren von sechs Proben vier steril, bei den zwei anderen wuchs je eine Kolonie auf 5^{ccm}. Bei einer Vorklärung mit 0.15 Eisenchlorid auf 1 Liter Wasser (Versuch XIII) war der Sterilisationseffekt stets ein absoluter. Auch der üble Geruch konnte durch Vorklärung und Bestrahlung zum Verschwinden gebracht werden. Freilich war noch ein kleiner Überschuß von gelöstem Eisen im Wasser zu konstatieren, und es wäre zu untersuchen, ob dieses Eisen auf die Qualität des Trinkwassers keinen nachteiligen Einfluß hat. Herr E. Zumbach hatte die Güte, die chemische Untersuchung des Wassers vorzunehmen und berichtet darüber wie folgt:

In dem untersuchten Wasser ergeben die charakteristischen, qualitativen Reaktionen die Anwesenheit von Eisen.

1. Nachweis von Eisen mit Rhodankalium (KCNS). Gibt man zu dem bis zur stark sauren Reaktion mit konzentrierter Salzsäure versetzten Wasser Rhodankalium hinzu, so entsteht nach einigen Sekunden die charakteristische dunkelrosa Färbung.

2. Nachweis von Eisen mit Ferrozyankalium (K_4FeCN_6).

Das mit Salzsäure angesäuerte Wasser gibt mit einer Lösung von Ferrozyankalium eine Blaufärbung.

Versuch XII.

	Färbungsgrad des zu bestrahlenden Wassers	Probe- entnahme, nachdem der Apparat im Betrieb gewesen	Keimzahl der Probe (5 ccm)		Anreiche- rung
			A. Nach 24 Stunden	B. Nach 3 Tagen	
20 prozentiges Jauchewasser mit Eisenchlorid 0.15 pro Liter vorgeklärt. Dekantationsdauer: 5 Stunden. Durch Flanell filtriert. Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde. Bestrahlungsdauer: 9—10 Sekunden	Färbung entspricht	10 Minuten	steril	1 Kolonie	—
		20 "	"	steril	—
	konzentrierter	30 "	1 Kolonie	1 Kolonie	—
	alkohol.	40 "	steril	steril	—
	Vesuvinlsg.	50 "	"	"	—
	4 : 100 000	60 "	"	"	—

Versuch XIII.

	Färbungs- grad des zu be- strahlenden Wassers	Probe- entnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Keimzahl d. Probe (5 ccm)		Anreicherung (25 ccm)	
			A. Nach 24 Std.	B. Nach 3 Tagen	Nach 24 Std.	Nach 3 Tagen
20 prozentiges Jauchewasser mit Eisenchlorid 0.15 pro Liter vorgeklärt. Dekantationsdauer: 5 Stunden. Durch Flanell filtriert. Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde. Bestrahlungsdauer: 9—10 Sekunden	Färbung entspricht	10 Minuten	steril	steril	steril	steril
		20 "	"	"	"	"
	konzentr.	30 "	"	"	"	"
	alkohol.	40 "	"	"	"	"
	Vesuvin-	50 "	"	"	"	"
	lösung	60 "	"	"	"	"
	4 : 100 000					

Versuch XIV.

	Färbungs- grad des zu be- strahlenden Wassers	Probe- entnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Keimzahl d. Probe (5 ^{ccm})		Anreicherung (25 ^{ccm})	
			A.	B.	Drigalski	
			Nach 24 Stdn.	Nach 3 Tagen	Nach 24 Stdn.	Nach 3 Tagen
Jauche, mit Eisen- chlorid 0.2 pro Liter vorgeklärt, durch Fla- nell filtriert. Dekanta- tionsdauer: 5 Stunden. Durchflußgeschwin- digkeit 90 Liter pro Stunde. Bestrahlungs- dauer: 9—10 Sekunden	Färbung entspricht konzentr. alkohol. Vesuvin- lösung 20 : 100 000	Keimzahl der Jauche pro 1 ^{ccm}	unendl.	unendl.	—	—
		4 Min.	276	276	0 Coli	1 Coli
		6 „	184	184	0 „	1 „
		8 „	92	92	0 „	1 „
		10 „	92	92	0 „	0 „
		12 „	184	184	0 „	2 „
	16 „	92	92	0 „	1 „	

Versuch XIV wurde direkt mit Jauche vorgenommen. Eine Abnahme der Keimzahl hat stattgefunden, ein vollständiger Sterilisationseffekt wurde jedoch nicht erzielt. Der Geruch hat bedeutend abgenommen.

Die folgenden Versuche (XV bis XXV) sind mit resistenten Keimen vorgenommen. Stiner hat in seinen Untersuchungen über die Brauchbarkeit des Verfahrens für Militärzwecke die Beobachtung gemacht, daß einige Staphylokokkenstämme bei der gewöhnlichen Durchflußgeschwindigkeit nicht abgetötet wurden. Ich habe nun an hochresistenten Keimen aller Art die Wirksamkeit des ultravioletten Lichtes geprüft und dabei die Überzeugung gewonnen, daß es auch zur Erzeugung von chirurgisch sterilem Wasser tauglich ist.

In Versuch XV wurden als Testobjekte Tetanusbazillen und Sporen verwendet. Der Versuch war derart angeordnet, daß eine alte Tetanusbouillonkultur, welche vorher mikroskopisch auf Sporen untersucht war und in jedem Gesichtsfeld zahlreiche Sporen enthielt, dem Wasser zugesetzt wurde, bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 180 Liter pro Stunde. Die Ergebnisse waren nicht hervorragend.

Die Proben mit Bouillonanreicherung und in Agarröhrchen enthielten Keime. Dabei waren allerdings nach den mikroskopischen Untersuchungen viele Kokken. Auch einige Stäbchen waren dabei, welche Tetanus vortäuschen konnten. Zur Klärung der Frage wurden Mäuse mit den Proben infiziert. Die mit unbestrahltem Material geimpfte Kontrollmaus war nach 26 Stunden tot, die anderen Mäuse 2 Wochen später noch lebend.

Versuch XV.

	Probe- entnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Keimzahl der Probe (5 ccm) auf Agar nach 3 Tagen	Bouillon- Anreiche- rung (2 ccm)	Mäuse
Mit Tetanus- sporen infiziert.	Kontrolle	+	+	Kontrollmaus tot nach 26 Stunden lebt
Durchfluß- geschwindigkeit	1 Minute	+	+	
180 Liter	2 Minuten	+	+	
pro Stunde.	3 „	+	+	
Bestrahlungs- dauer: 5—6 Sek.	4 „	+	+	
	5 „	+	+	„

Versuch XVI hat den Zweck, festzustellen, ob nicht die kolloidalen Substanzen, welche in der Bouillon enthalten sind, die ungünstigen Sterilisationsresultate verursachen. Die sporenhaltige Bouillon wurde abzentrifugiert und der mikroskopisch untersuchte Bodensatz, der fast nur aus

Sporen bestand, dem Wasser zugesetzt. Die Sterilisationsergebnisse fielen sehr gut aus. Sämtliche Proben blieben steril. Bei den Kontrollnährböden dagegen, welche mit 0.01, 0.1 und 1 ccm infiziertem Wasser beschickt wurden, wuchsen unendlich viel Tetanusbazillen. Die mit diesen Kontrollen infizierten Mäuse starben ausnahmslos an Tetanus.

Versuch XVI. Klares Wasser.

	Probe- entnahme, nachdem der Apparat 1 Min. im Be- triebe gewesen	Keimzahl der Probe (5 ccm) auf Agar	Bouillon- Anreiche- rung (2 ccm)	Mäuse
Mit abzentri- fugierten Teta- nussporen infi- ziertes Wasser.	Kontr. 1.0 ccm	+	+	tot nach 36 Stunden
	" 0.1 "	vor { +	+	" " 2 Tagen
	" 0.01 "	+	+	" " 4 "
Durchfluß- geschwindigkeit	Probe 1	steril	steril	—
90 Liter	" 2	"	"	—
pro Stunde.	" 3	"	"	—
Bestrahlungs- dauer: 9—10 Sek.	" 4	"	"	—
	" 5	"	"	—
	" 6	"	"	—
	" 7	"	"	—
	" 8	"	"	—

Um noch sicherer zu prüfen, ob die kolloidalen Substanzen auf das keimtötende Vermögen der ultravioletten Strahlen Einfluß haben, war Versuch XVII in 2 Serien geteilt:

Serie I war mit abzentrifugierten Tetanussporen genau wie Versuch XVI vorgenommen, ohne Bouillonzusatz mit der einzigen Abänderung, daß hier die Durchflußgeschwindigkeit das Doppelte, also 180 Liter pro Stunde betrug. Die Resultate waren dieselben wie vorher, die entnommenen Proben waren alle steril.

Serie II war dagegen mit Zusatz von Bouillon vorgenommen und bei der halben Durchflußgeschwindigkeit, bei 90 Liter pro Stunde. Hier gelangten bei sämtlichen Proben Tetanusbazillen zum Wachstum (s. Versuch XVII). Es unterliegt also gar keinem Zweifel mehr, daß die kolloidalen Substanzen sehr hemmend für die Wirkung der Strahlen sind. Auch hier wurden die Kontrollen auf Mäusen geprüft. Die Mäuse sind tot.

Hr. Prof. Dr. M. Neisser in Frankfurt a. M. hat mir gütigst seinen resistenten Peptonatustamm und ferner einen resistenten Staphylokokkentamm überlassen, wofür ich ihm sehr dankbar bin. Mit diesen zwei resistenten Keimen habe ich weitere Versuche angestellt.

Versuch XVII. Klares Wasser.

	Probeentnahme, nachdem der Apparat 1 Min. im Betrieb ge- wesen	Wachstum auf Agar (5 ccm)	Bouillon- Anreicherung von 2 ccm	Mäuse
Serie I	Kontrolle 0·1 ccm	+++	+++	tot
mit abzentrifugierten	„ 1·0 „	+++	+++	„
Tetanussporen infiziertes	Probe 1	steril	steril	lebend
Wasser ohne Bouillonzusatz.	„ 2	„	„	„
Durchflußgeschwindigkeit	„ 3	„	„	„
180 Liter pro Stunde.	„ 4	„	„	„
Bestrahlungsdauer: 5-6 Sek.				
Serie II	Probe 1	+	+	
mit abzentrifugierten	„ 2	+	+	
Tetanussporen infiziertes	„ 3	+	+	
Wasser mit Bouillonzusatz.	„ 4	+	+	
Durchflußgeschwindigkeit				
90 Liter pro Stunde. Be- strahlungsdauer: 9-10 Sek.				

Versuch XVIII. Klares Wasser.

	Probe- entnahmen, nachdem der Apparat im Betrieb ge- wesen	Volt	Ampere	Keimzahl der Probe (5 ccm)	
				A. Nach 24 Std.	B. Nach 3 Tgn.
Serie I	5 Minuten	37	4·2	steril	steril
mitsporenhaltig. Peptonatus	10 „	37	4·2	„	„
infiziert, ca. 276500 pro ccm.	15 „	37	4·2	„	„
Durchflußgeschwindigkeit					
90 Liter pro Stunde. Be- strahlungsdauer: 9-10 Sek.					
Serie II	5 Minuten	35	4·2	1	1
mitsporenhaltig. Peptonatus	10 „	37	4·1	1	1
infiziert, ca. 276500 pro ccm.	15 „	35	4·2	1	2
Durchflußgeschwindigkeit					
180 Liter pro Stunde. Be- strahlungsdauer: 5-6 Sek.					

Versuch XVIII war ebenfalls in 2 Serien geteilt bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 90 und 180 Liter pro Stunde. Die Ergebnisse waren sehr gut bei Serie I; bei Serie II sind 1 bis 2 Keime in 5 ccm Wasser durchgegangen. Es ist bekannt, daß diese Peptonatussporen längere Zeit die Kochhitze und den strömenden Wasserdampf aushalten, und es war somit sehr wünschenswert, gleichzeitig mit dem Versuch mit ein und derselben Kultur und bei derselben Verdünnung eine vergleichende Kontrolle durch Kochen vorzunehmen, um zu sehen, wie sich hier die Strahlenwirkung verhält.

Versuch XIX. Klares Wasser.

	Probe- entnahme, nachdem der Appa- rat im Be- triebe ge- wesen	Volt	Ampère	Keimzahl der Probe (5 ccm)		Vergleichender Versuch durch Kochen		
				A. Nach 24 Std.	B. Nach 3 Tgn.	10 Minuten	20 Minuten	30 Minuten
Serie I								
mitsporenhaltig. Peptonatus infiziert, ca. 160 000 pro ccm.	5 Minuten	35	4.4	steril	steril	2760	190	3
Durchflußgeschwindigkeit	10 "	35	4.3	steril	"			
90 Liter pro Stunde. Be- strahlungsdauer: 9—10 Sek.	15 "	35	4.4	1	1			
Serie II								
mitsporenhaltig. Peptonatus infiziert, ca. 160 000 pro ccm.	5 Minuten	35	4.3	1	1			
Durchflußgeschwindigkeit	10 "	35	4.4	1	1			
180 Liter pro Stunde. Be- strahlungsdauer: 5—6 Sek.	15 "	35	4.4	steril	steril			

Versuch XIX war wie der vorige in 2 Serien eingeteilt bei einer Geschwindigkeit von 90 und 180 Liter pro Stunde. Die Ergebnisse sind gut. Trotzdem ist immerhin noch hin und wieder bei der einen oder anderen Probe ein Keim gewachsen.

Es ist höchst wahrscheinlich, daß dieser eine Keim durch Verunreinigung der Laboratoriumluft auf die Platten kam, da sich beim Arbeiten mit Peptonatuskulturen immer einige Sporen in der Luft des Laboratoriums nachweisen lassen. Denn bei einer Kontrolle mit Agar allein ist auch ein Keim gewachsen. Nach $\frac{1}{2}$ Stunde Kochen waren in 1 ccm noch 3 Keime zur Entwicklung gekommen.

Versuch XX war mit der großen Menge Peptonatussporen von über 2 Millionen in 1 ccm Wasser vorgenommen; zum Vergleich wurden Versuche angestellt, die Sporen durch Kochen oder durch eine Sublimatlösung 1:1000 abzutöten. Der Sterilisationseffekt war kein absoluter, er entsprach ungefähr der Wirkung, die durch einstündiges Kochen des sporenhaltigen Wassers erreicht wurde. Sublimat wirkte schwach, nach 9 Minuten Einwirkung zeigte sich kein Effekt.

Versuch XXI wurde unter denselben Bedingungen vorgenommen, nur mit einer kleineren Keimzahl, etwa 460 000 pro Kubikzentimeter. Auch hier wurde ein vergleichender Versuch durch Kochen angestellt; auch hier blieben nach 50 Minuten Kochen einige Keime am Leben. Das bestrahlte Wasser war vollständig steril.

Versuch XX. Klares Wasser.

	Probe- entnahme, nachdem der Appa- rat im Be- triebe ge- wesen	Keimzahl der Probe (5 ccm) auf Agar	Vergleichender Versuch durch Kochen	Vergleichender Versuch mit Sublimat 1:1000
Mit Peptonatus, sporenhaltigen Ba- zillen aus Frankfurt, ca. 2240000 pro ccm. F. 7. Durchflußgeschwin- digkeit 180 Liter pro Stunde. Bestrahlungs- dauer: 5—6 Sekunden	5 Minuten	steril	Keimzahl in 5 ccm 10 Min. unendlich 20 „ desgl. 30 „ „ 40 „ 7 50 „ 6	1 Min. unendlich 2 „ desgl. 4 „ „ 6 „ „ 9 „ „
	10 „	3		
	15 „	9		
	20 „	9		
	25 „	7		

Versuch XXI. Klares Wasser.

	Probe- entnahme, nachdem der Appa- rat im Be- triebe ge- wesen	Keimzahl der Probe (5 ccm) Nach 24 Std.	Vergleichende Versuche. Keimabtötung durch Kochen. Temperatur 100° C				
			10 Min.	20 Min.	30 Min.	40 Min.	50 Min.
Serie I mit Peptonatus infi- ziert, ca. 461000 pro ccm. Durchfluß- geschwindigkeit 90 Liter pro Stunde. Bestrahlungsdauer: 9—10 Sekunden	5 Minuten	steril	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm unendlich	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm unendlich	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm im Mittel 2760 Kolonien	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm im Mittel 30 Kolonien	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm im Mittel 6 Kolonien
	10 „	„					
	15 „	„					
Serie II mit Peptonatus infi- ziert, ca. 461000 pro ccm. Durchfluß- geschwindigkeit 180 Liter pro Stunde. Bestrahlungsdauer: 5—6 Sekunden	5 Minuten	steril	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm unendlich	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm unendlich	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm im Mittel 2760 Kolonien	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm im Mittel 30 Kolonien	aus sämtlichen Kontrollen in 5 ccm im Mittel 6 Kolonien
	10 „	„					
	15 „	„					

Zur Prüfung der Tauglichkeit des Verfahrens für chirurgische Zwecke sind Versuche mit Staphylokokken von besonderem Interesse. In Versuch XXII wurde eine erste Serie mit über 10 Millionen Staphylokokken pro Kubikzentimeter Wasser bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 90 Liter pro Stunde vorgenommen. Die Ergebnisse sind auch hier sehr gut. Bei der zweiten Serie wurde die Durchflußgeschwindigkeit

verdoppelt, der Keimgehalt auf etwa 5 Millionen pro Kubikzentimeter herabgesetzt.

Versuch XXII. Klares Wasser.

	Probeentnahme, nachdem der Apparat im Be- triebe gewesen	Keimzahl der Probe (5 ^{ccm})	
		A.	B.
		Nach 24 Std.	Nach 3 Tagen
Serie I			
mit Staphylokokk. infiziert (ca. 10370000 pro Kubikzentimeter). Durchflußge- schwindigkeit 90 Liter pro Stunde. Bestrahlungsdauer: 9—10 Sekunden	5 Minuten	steril	steril
	10 „	„	„
	15 „	„	„
Serie II			
mit Staphylokokken infiziert (ca. 5760000 pro Kubikzentimeter). Durchflußge- schwindigkeit 180 Liter pro Stunde. Bestrahlungsdauer: 5—6 Sekunden	5 Minuten	steril	steril
	10 „	„	„
	15 „	„	„

Versuch XXIII. Klares Wasser.

	Probeentnahme, nachdem d. Apparat im Betriebe gewesen	Keimzahl der Probe (5 ^{ccm})		Resultate der Anreicherung in 250 ^{ccm}
		A. Nach 24 Stunden	B. Nach 3 Tagen	
Serie I				
mit Staphylokokken infiziert (ca. 12100000 pro Kubikzentimeter). Durchflußgeschwindigkeit 90 Liter pro Stunde. Bestrahlungsdauer: 9—10 Sekunden.	5 Minuten	steril	steril	steril
	10 „	„	„	„
	15 „	„	„	„
Serie I				
mit Staphylokokken infiziert (ca. 11500000 pro Kubikzentimeter). Durchflußgeschwindigkeit 180 Liter pro Stunde. Bestrahlungsdauer: 5—6 Sekunden	5 Minuten	1 oberfl. Staph.	1 oberfl. Staph.	steril
	10 „	2 Staph.	2 Staph.	+ Staph.
	15 „	1 Heubaz.	—	steril

Versuch XXIII zeigte wenigstens in der zweiten Serie kein absolutes Sterilisationsresultat, kann aber wegen des hohen Keimgehaltes (etwa 12 Millionen Keime pro Kubikzentimeter) als befriedigend angesehen werden. Auf den mit 5^{ccm} Wasser beschickten Platten wuchsen von den ursprünglichen 60 Millionen Keimen noch 1 bis 2 Staphylokokken und 1 bis 2 Heubazillen.

Versuch XXIV. Klares Wasser.

	Probeentnahme, nachdem der Apparat im Be- triebe gewesen	Volt	Ampère	Keimzahl der Probe (5 ^{ccm})		Resultate der An- reicherung (200 ^{ccm})	
				A. Nach 24 Stunden	B. Nach 3 Tagen	A. Nach 24 Stunden	B. Nach 3 Tagen
Serie I							
mit Staphylokokken in- fiziert (ca. 12100000 pro Kubikzentimeter).	5 Minuten	35	4·3	1 Staph.	2 Staph.	—	—
Durchflußgeschwin- digkeit 80 Liter pro Stunde. Bestrahlungs- dauer: 9—10 Sekunden	10 „	35	4·3	1 Heubaz.	1 Heubaz.	—	—
	15 „	35	4·3	steril	steril	steril	steril
Serie II							
mit Staphylokokken in- fiziert (ca. 11500000 pro Kubikzentimeter).	5 Minuten	35	4·2	2 Staph.	2 Staph.	—	—
Durchflußgeschwin- digkeit 180 Liter pro Stunde. Bestrahlungs- dauer: 5—6 Sekunden	10 „	40	4·0	1 Heubaz.	1 Heubaz.	+	+
	15 „	37	4·2	steril	steril	—	—

Versuch XXV. Klares Wasser.

	Färbungsgrad des zu bestrahlenden Wassers	Probeentnahme, nachdem der Apparat im Betriebe gewesen	Keimzahl der Probe (5 ^{ccm})
Mit resistenten Bakterien aus Frankfurt G. I. Durchfluß- geschwindigkeit 180 Liter pro Stunde. Bestrahlungsdauer: 5—6 Sekunden	klar	Kontrolle nach 1 Stunde pro 1 ^{ccm}	27 600
		Probe „ 1 „ (5 ^{ccm})	steril
		Kontrolle „ 2 Stunden pro 1 ^{ccm}	27 600
		Probe „ 2 „	steril
		Kontrolle „ 3 „ pro 1 ^{ccm}	36 800
		Probe „ 3 „	steril
		Kontrolle „ 4 „ pro 1 ^{ccm}	36 800
		Probe „ 4 „	steril
		Kontrolle „ 5 „ pro 1 ^{ccm}	27 600
		Probe „ 5 „	steril
		Kontrolle „ 6 „ pro 1 ^{ccm}	27 600
		Probe „ 6 „	steril
		Kontrolle „ 7 „ pro 1 ^{ccm}	36 800
		Probe „ 7 „	steril
		Kontrolle „ 8 „ pro 1 ^{ccm}	36 800
		Probe „ 8 „	steril

Versuch XXIV war auch mit einem Keimgehalt von etwa 12 Millionen Staphylokokken pro Kubikzentimeter und bei einer Anreicherung von bestrahltem Wasser von 200^{cem} vorgenommen, nur mit dem Unterschied, daß hier gleichzeitig ein Versuch mit Kochen derselben Kontrollproben gemacht wurde. Die Ergebnisse waren beim bestrahlten Wasser sehr gut; das Kochen bei 100° hielten die Kokken immerhin $\frac{1}{2}$ Stunde aus.

Versuch XXV ist ein Dauerversuch; es handelt sich darum, die Funktion der Lampe zu prüfen bei stundenlangem Brennen ohne Unterbrechung. Die Versuchs- bzw. Brenndauer der Lampe betrug 8 Stunden, die Durchflußgeschwindigkeit 180 Liter pro Stunde und die Keimzahl 27 000 bis 37 000 pro Kubikzentimeter (resistente Keime). Jede Stunde wurde eine Probe entnommen. Die Ergebnisse sind, wie aus Versuch XXV zu ersehen, sehr gut.

Zusammenfassung und Schluß.

Auf Grund obiger Versuche ist das Verfahren der Gewinnung sterilen Trinkwassers mit Hilfe der durch Quecksilberdampfquarzlampen erzeugten ultravioletten Strahlen bei richtiger Anordnung und Kontrolle als durchführbar zu bezeichnen. Voraussetzungen für die richtige Wirkung des Apparates sind:

1. Stromstärke und Spannung sind für den zu benutzenden Apparat genau einzustellen und zu kontrollieren.
 2. Die Durchflußgeschwindigkeit darf eine bestimmte Höhe, die je nach der Qualität des Wassers festzustellen ist, nicht überschreiten.
 3. Das Wasser darf einen bestimmten Trübungs- und Färbungsgrad nicht überschreiten, außerdem darf der Gehalt an gelöster organischer Substanz (Kolloidstoffe) nicht zu groß sein.
 4. Geringere Grade der Trübung und Färbung, wie sie für die Praxis im allgemeinen in Frage kommen, beeinträchtigen das Sterilisationsvermögen der ultravioletten Strahlen nicht.
 5. Bei klarem Wasser spielt die Keimzahl, bis zu mehreren Millionen pro Kubikzentimeter, keine Rolle.
 6. Die Quecksilberdampf Lampe, Type Nogier-Triquet M. 5, mit der die Versuche angestellt worden sind, kann für Hospitäler, chirurgische Kliniken und zu Militärzwecken Verwendung finden und liefert, wenn die oben genannten Bedingungen erfüllt sind, ein keimfreies Wasser.
-

Literatur-Verzeichnis.

1. Bredig u. Bimsel, *Physikalische Zeitschrift*. 1906. Nr. 7. S. 107 u. 228.
2. Brill, O., Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. 81. *Versammlung zu Salzburg im Jahre 1909*. Leipzig 1910.
3. Billon-Daguerre, M., Stérilisation des liquides. *Journal officiel de la République française*. März 1910.
4. Courmont u. Nogier, Sur la stérilisation de l'eau potable au moyen de la lampe en quartz à vapeur du mercure. *Comptes rendus de l'académie des sciences*. 22. Febr. 1909. T. CXLVIII. Nr. 8.
5. Dieselben, *Stérilisation de l'eau potable par les rayons ultraviolets*. Paris, Jan. 10.
6. Dieselben, Action de la lampe en quartz à vapeur du mercure sur la toxine tétanique. *Comptes rendus de l'académie des sciences*. 8. März u. 2. Aug. 1909.
7. Dieselben, Les rayons ultraviolets, leur application à la médecine, à l'hygiène, notamment à la stérilisation de l'eau potable. *La Technique sanitaire*. 1910. T. V. p. 127—132.
8. Domic et Daire, *Comptes rendus de l'académie des sciences*. 1910. H. 5.
9. Dettmer, Alb., Über die biologische und chemische Wirkung der Quarzglas-Quecksilberlampe. *Med. Dissertation*. Göttingen 1910.
10. Erlwein, Über Trinkwasserreinigung durch Ozon und Ozonwasserwerke. *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*. 1903. S. 883.
11. Derselbe, Das Ozonwerk Hermannstadt in Siebenbürgen. *Gesundheits-Ingenieur*. 1910. Bd. XXXIII. S. 457.
12. Derselbe, Über Ozonwerke. *Ebenda*. 1908. Bd. XXXI. S. 357.
13. Feldmann, Siegfried, Über die Wirkung der Quarzglas-Quecksilberlampe. *Med. Dissertation*. Göttingen 1905.
14. Fessard, L'application de l'ozone à la stérilisation des eaux potables, de la ville de Chartres. *Revue d'Hygiène*. 1909. T. XXXI. S. 288.
15. Germann, H., Über die Wirkung der Quecksilberquarzglaslampen. *Centralblatt für Bakteriologie*. 1906.
16. Grimm u. Weldert, Sterilisation von Wasser mittels ultravioletten Strahlen. *Mitteilungen aus der Königl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung zu Berlin*. 1911. Hft. 4. S. 85.
17. Glaser, Beiträge zur Kenntnis der Sterilisation mittels ultravioletten Lichtes. *Wiener klin. Wochenschrift*. 1911. Nr. 32. S. 1157.
18. Henry, V., Heilbronner, A. u. de Recklinghausen, M., Sterilisierung großer Wassermengen durch ultraviolette Strahlen. *Comptes rendus de l'académie des sciences*. 11. April 1910. Ref. *Chem. Zentralblatt*. 1910. Bd. I. S. 2127.
19. *Journal of the Royal Sanitary Institute*. 1910. Vol. XXXI. p. 172.
20. Johnson, G. A., Methods of Operation of the sterilisation plant of Jersey City water supply company. *Engineering record*. 1909. Vol. LIX. p. 772.
21. Imhoff u. Saville, Die Desinfektion von Trinkwasser mit Chlorkalk in Nordamerika. *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*. 1910. Bd. LIII. S. 1119.

22. Kernbaum, M., Zersetzung des Wassers durch ultraviolette Strahlen. *Comptes rendus de l'académie des sciences*. 1909. T. CIL. p. 273.
23. Müller, Über Wassersterilisation mittels ultravioletten Strahlen. *Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte*. 1912. Bd. XLIII. S. 475.
24. Nogier et Thévenod, Pouvoir bactéricide de la lampe à vapeur du mercure et en quartz. *Congrès de l'association française pour l'avancement des sciences*. Clermont-Ferrand 1908.
25. *Ohio State Board of Health. Report of an Investigation of water and sewage purifications plants in Ohio*. Columbus, Ohio, Verlag von F. J. Herr, State printer, 1908.
26. v. Recklinghausen, M., Sterilisation of water by means of quartz lamps. *Journal of the Royal Sanitary Institute*. Vol. XXXI. p. 172.
27. Rideal, S., The purification of water by ozone. *Ebenda*. Vol. XXX. p. 32.
28. Roch, H., Beurteilung der Verfahren zur Reinigung des Talsperrenwassers für Wasserversorgungszwecke. *Wasser und Abwasser*. 1909. Bd. II. S. 108.
29. Schreiber, E. u. Germann, Über die Wirkung der Quecksilberquartzglaslampe. *Münchener med. Wochenschrift*. 1906. Nr. 39.
30. Shenton, H. C., Practical sterilisation of water and sewage effluents. *Sanitary Record*. 1909. p. 391.
31. Derselbe, Practical sterilisation of water and of sewage effluents. *Surveyor*. 1909. Vol. XXXV. p. 566.
32. Schreiber, Zur Beurteilung des Ozonverfahrens für die Sterilisation des Trinkwassers. *Diese Mitteilungen*. 1906. Hft. 6. S. 60.
33. Schwarz u. Aumann, Über die Trinkwasserbehandlung mit ultravioletten Strahlen. *Diese Zeitschrift*. 1911. Bd. LXIX. S. 1.
- 33a. Dieselben, Weitere Mitteilungen über die Behandlung des Trinkwassers mit ultravioletten Strahlen. *Ebenda*. 1911. Bd. LXIX. S. 68.
- 33b. Dieselben, Der Trinkwassersterilisator nach Nogier-Triquet. Dritte Mitteilung über die Behandlung des Trinkwassers mit ultravioletten Strahlen. *Ebenda*. 1912. Bd. LXXIII. S. 119.
34. Schröter, Beiträge zur Frage der Sterilisation von Trinkwasser mittels ultravioletter Strahlen. *Ebenda*. 1912. Bd. LXXII. S. 189.
35. Turneure, F. E. and Russel, *Public water supplies*. 1908. 2. Ausgabe. New York, Willey and Sons.
36. Vallet, G., Sterilisierung großer Mengen von Wasser durch ultraviolette Strahlen. *Ibidem*. 25. April 1910. Ref. *Chem. Zentralblatt*. 1910. Bd. I. S. 2127.
37. 4. Jahresversammlung der association générale des ingénieurs, architectes et hygiénistes municipaux. Vortrag von S. Bruère. Les expériences des eaux potables suivies par la ville de Paris. *La Technique Sanitaire*. 1908. T. III. Nr. 10 u. 11.
38. Oker-Blom, Max, Über die keimtötende Wirkung des ultravioletten Lichtes in klarem, getrübbtem und gefärbtem Wasser. *Diese Zeitschrift*. 1913. Bd. LXXIV.
39. Stiner, Otto, Die Sterilisation des Trinkwassers durch ultraviolette Strahlen und die Bedeutung dieses Verfahrens für die Wasserversorgung von Truppen im Felde. *Militärärztl. Beilage Nr. 3 zum Correspondenzblatt für Schweizer Ärzte* 1913.