[Aus dem Staatlichen Hygienischen Institut zu Hamburg.]
(Direktor: Prof. Dr. Dunbar. Abteilungsvorsteher: Prof. Dr. Kister.)

Über Trinkwasserbehandlung mit ultravioletten Strahlen.

Von

Dr. L. Schwarz und Oberarzt Dr. Aumann.

Die Frage der Sterilisierung von Trinkwasser mit ultravioletten Strahlen ist in Frankreich eingehend behandelt worden; vor allem haben die Untersuchungen Courmonts und Nogiers¹, sowie ihrer Mitarbeiter sehr günstige Ergebnisse gezeitigt. In Deutschland waren zur Zeit des Beginns unserer Versuche Nachprüfungen von anderer Seite noch nicht veröffentlicht, und so hielten wir es für erwünscht, durch eigene Versuche die Einwirkung ultravioletter Strahlen auf den Keimgehalt des Wassers festzustellen.

Auf die geschichtliche Entwicklung, sowie auf die Physik der ultravioletten Strahlen wollen wir dabei nur insoweit eingehen, als es zum Verständnis der gesamten Versuche notwendig erscheint. Die wichtigsten darauf bezüglichen Punkte finden sich bei Deelemann², der auch ein ziemlich umfassendes Literaturverzeichnis beigefügt hat, aufgeführt.

¹ Courmont u. Nogier, *Revue d'hygiène*. 1910. Nr. 4 u. 6.

² Deelemann, Die Trinkwassersterilisation mittels ultravioletter Strahlen usw. *Deutsche militär-ärztl. Zeitschrift*. 1910. XXXIX. Jahrg. Hft. 11. S. 409.
Zeitschr. f. Hygiene. LXIX

Zur Verfügung stand uns eine von der Quarzlampengesellschaft Hanau hergestellte Quecksilberdampfquarzlampe, die uns mit dem gläsernen Sterilisierungsgefäß von Hrn. Direktor Pollatschek in Wilhelmsburg freundlichst für unsere Versuche überlassen war. Das Licht wird hierbei in einem Sterilisationsbrenner mit doppeltem Quarzmantel (siehe Abbildung) zum Brennen unter Flüssigkeit, einem sogenannten Unterwasserbrenner, erzeugt. Die Länge des Lichtbogens beträgt etwa 6 cm, der benötigte Strom beträgt 4 Ampère und etwa 80 Volt, die unter Vorschaltung eines Eisenwiderstandes der elektrischen Leitung entnommen werden. Die Lichtstärke beträgt etwa 1200 Kerzen.

Sterilisationsbrenner mit doppeltem Quarzmantel.

Auf die ausführlichen und genau zu beachtenden Verhaltens- und Vorsichtsmaßregeln müssen wir noch kurz eingehen, da sie bei einer Einführung der Apparate in die Praxis von Wichtigkeit sind und auch bei anderen Apparaten, die mit ultravioletten Strahlen arbeiten, gegebenenfalls zu berücksichtigen sein würden.

Die hier benutzte Lampe darf niemals ohne Wasserumspülung in Betrieb gesetzt werden, da der Brenner sonst sofort zerstört wird. Nach unseren Erfahrungen sollte nach Möglichkeit die Zündung auch nur bei fließendem Wasser erfolgen, da anderenfalls schon innerhalb weniger Sekunden eine zu starke Erhitzung stattfinden kann. Es ist zur Genüge

bekannt, daß bereits ganz kurz dauernde Einwirkung der ultravioletten Strahlen äußerst schmerzhaft Entzündungen der Augen hervorrufen kann. Als Schutz beim Arbeiten mit diesem gläsernen Apparat genügt angeblich das Tragen einer die Augen nach allen Richtungen bedeckenden farbigen Brille.¹

Bei der elektrischen Installation ist in den Netzanschluß für die Lampe eine Schmelzsicherung von 10 Ampère, sowie ein Regulierwiderstand, der zugleich mitgeliefert wird, vorzuschalten. Da falsche Stromrichtung eine sofortige Zerstörung des Leuchtkörpers zur Folge hat, so ist vor Inbetriebsetzungen eine genaue Feststellung der Polarität der Zuleitungsdrähte unerläßlich. Die Feststellung geschieht bekanntlich in der Weise, daß die beiden Pole der Zuleitung auf angefeuchtetes Polreagenspapier in etwa 1 cm Abstand aufgedrückt werden: der Minuspol erzeugt eine Rotfärbung des Polpapiers, an dem Pluspol tritt keine Färbung des Papiers auf. Bei irgend welchen Änderungen an der Leitung ist aus obigem Grunde jedesmal unmittelbar an den Klemmen des Brenners die richtige Polung durch Polreagenspapier nachzuprüfen. Die gleiche Prüfung ist beim Einschalten der Lampe nochmals unmittelbar an den Klemmen des Brenners vorzunehmen. Die anfängliche Stromstärke von etwa 10 Ampère geht in 2 bis 5 Minuten auf die normale von 4 Ampère bei 80 Volt zurück. Geringe Variationen um einige Zehntel Ampère sind je nach der Temperatur und der Bewegung des zu behandelnden Wassers festzustellen, jedoch ohne Einfluß auf den Effekt der Bestrahlung. Die Lampe wird in der Weise eingeschaltet, daß die besonders kenntlich gemachte Anodenseite des Brenners langsam angehoben wird (etwa 5 cm) bis der Brenner aufleuchtet. Darauf wird die Anode wieder langsam in die Ruhelage hinuntergelassen. Die Kathodenseite darf keinesfalls zum Einschalten angehoben werden.

Dem zu untersuchenden Wasser setzten wir in einem eisernen Behälter von etwa 200 Liter Fassungsvermögen unter gutem Durchmischen die Aufschwemmung mit Testbakterien zu. Von dem Behälter führte ein mit Einstellschraube versehener Gummischlauch zum Sterilisationsgefäß, das bei einer Länge von 20 cm, einer Breite von 8.5 cm und einer Höhe von 8 cm gemessen bis zur Mitte des Ausflusses einen nutzbaren Fassungsraum von etwa 1300 cm hatte. Die größte Strecke der Wasserschicht, die

¹ A. Bieber weist in einer inzwischen erschienenen Mitteilung — *Deutsche med. Wochenschrift*, 1911, Nr. 6, S. 645 — darauf hin, daß dieser Schutz nicht genüge. Ultraviolette Strahlen von weniger als 300 μ werden allerdings durch Glas abgeblendet, dagegen treten die Strahlen von 400 bis 300 μ ungehindert hindurch und können somit Schädigungen des inneren Auges veranlassen.

die Strahlen während der Behandlung zu durchdringen haben, beträgt dabei ungefähr 5 cm.

Unsere Versuche begannen wir zunächst damit, daß wir festzustellen suchten, bei welcher kürzesten Bestrahlungsdauer überhaupt eine völlige Sterilisierung zu erreichen war.

Das Glasgefäß wurde gründlich gereinigt, an den Wasserein- und austrittsöffnungen mittels Korkpfropfen verschlossen und mit völlig klarem Leitungswasser gefüllt. Wir setzten eine sorgfältig filtrierte Aufschwemmung von einer Öse Leucht-vibrionen in Leitungswasser hinzu und mischten gut durch.¹ Dann wurde der Strom eingeschaltet und das ultraviolette Licht gelangte unter Wechsel der Bestrahlungsdauer bei den verschiedenen Versuchen zur Einwirkung auf das infizierte Wasser. Die bei dieser Bestrahlung nicht fließenden Wassers erzielten Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle I zusammengestellt.

Tabelle I.

Test- bakterien	Bestrahlungs- dauer	Keimzahl 1 ccm		Anreicherung	
		Rohwasser	beh. Wasser	10 ccm	200 ccm
Leucht- vibrionen	1 Sek.	2000	1800	+	+
	3 „	1800	1800	+	+
	5 „	2000	700	+	+
	10 „	2100	15	+	+
	15 „	1950	8	+	+
	20 „	2200	0	+	+
	25 „	2250	0	0	0
	30 „	1800	0	0	0

Eine längere Bestrahlungsdauer als 30 Sekunden konnten wir nicht versuchen, da das Wasser zu sehr erwärmt wurde und die Gefahr bestand, daß die Lampe durch nicht genügende Kühlung geschädigt und das gläserne Sterilisationsgefäß zerspringen würde.

Nach einer Bestrahlung von etwa 20 Sekunden machte sich ein deutlicher Ozongeruch bemerkbar.

¹ Bei Herstellung von Aufschwemmungen der verschiedenen Testbakterien beobachteten wir als selbstverständlich die Forderungen, die Nogier (*Technique de l'infection artificielle de l'eau etc. Comptes rendus de la Société de biologie*. 1911. T. LXX. Nr. 1. p. 7) als unerläßlich hervorgehoben hat: eine Kultur wird leicht abgeschwemmt unter Vermeidung der Mitnahme von Teilchen des Nährbodens, danach sorgfältige Filtration dieser Aufschwemmung. Das zu sterilisierende Wasser muß vollständig klar sein und darf keine Suspensionen enthalten.

Anmerkung zu den Tabellen. + = Wachstum. 0 = steril.

Des weiteren stellten wir fest, in welcher kürzesten Zeit bei den von uns gewählten Ausflußgeschwindigkeiten von 1 und 2 Liter pro Minute, entsprechend 60 bzw. 120 Liter pro Stunde, ein Wasserteilchen von der Eintrittsstelle zur Austrittsstelle gelangt. Höhere Ausflußgeschwindigkeiten wandten wir nicht an, da wir in Vorversuchen ungünstige Sterilisierungsergebnisse bei größerer Geschwindigkeit erzielt hatten. Noch geringere Ausflußgeschwindigkeiten erschienen uns nicht zweckmäßig, da wir dann eine so geringe Ergiebigkeit erhielten, daß eine praktische Verwendung doch ausgeschlossen wäre.

Wir stellten nun die Versuche derartig an, daß wir den Inhalt des eisernen Behälters, sowie des Verbindungsschlauches mit Fluoreszein stark grün färbten. Der Absperrhahn wurde dann plötzlich geöffnet und die Zeit, bis das grügefärbte Wasser zur Ausflußöffnung gelangte, genau bestimmt. Als kürzeste Zeit ergab sich bei einer Ausflußgeschwindigkeit von 2 Litern pro Minute 3 Sekunden, bei 1 Liter pro Minute 6 Sekunden. Die gleichen Zeiten erzielten wir durch Kontrollversuche mit Leucht-vibrien und Colibakterien.

Wir konnten demnach bei unseren Versuchen mit einer Mindestbestrahlungsdauer von 3 bzw. 6 Sekunden rechnen.

Nach dem Ergebnis unserer ersten Versuche hatten wir bereits gesehen, daß zur Erzielung eines tatsächlich keimfreien Wassers eine Bestrahlungsdauer von etwa 25 bis 30 Sekunden erforderlich war. Diese Versuche waren, wie schon bemerkt, nur mit nichtfließendem Wasser angestellt, wenn auch durch das Einschalten der Lampe eine allerdings geringe Bewegung hervorgerufen wird. Das Ergebnis würde voraussichtlich ein weitaus besseres gewesen sein, wenn dieser Versuch bei bewegtem Wasser ausgeführt worden wäre. Eine solche Anordnung war jedoch aus äußeren Gründen nicht möglich.

Aber auch so sind die Unterschiede in der scheinbar notwendigen Behandlungsdauer und der praktisch möglichen Bestrahlungsdauer (25 bis 30 Sekunden gegenüber 3 bis 6 Sekunden) sehr erhebliche. Wir standen daher zunächst, und wohl mit Recht, dem Gedanken einer Verwendungsmöglichkeit dieses Verfahrens für die Praxis sehr skeptisch gegenüber. Unsere Versuche fielen jedoch günstiger als erwartet aus.

Wir stellten bei unseren weiteren Versuchen die Wassergeschwindigkeit so ein, daß wir bei einer stündlichen Wasserlieferung von 120 Litern mit einer Bestrahlungsdauer von etwa 3 Sekunden für das einzelne Wasserteilchen rechnen konnten. Während der Dauer der einzelnen Versuche nahm die Zeit der Bestrahlungsdauer stets etwas zu, wenn auch nur sehr gering, da mit geringer werdendem Druck die Durchflußgeschwindigkeit etwas abnahm.

Die Menge der zugesetzten Testbakterien war bei unseren Versuchen zunächst ungefähr stets die gleiche. Wir nahmen vier gut bewachsene Agarröhrchen (18^h Vibrionen, Coli, 40^h Sporenbildner von 20 Minuten Resistenz, Prodigiosus, Violaceus), die mit Leitungswasser abgeschwemmt und sorgfältig filtriert wurden.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tabelle II zusammengestellt:

Tabelle II.

Test- bakterien	Wasser- menge in einer Std.	Ein- wirkungs- zeit	Temperatur		Keimzahl in 1 ^{ccm}	
			Rohwasser	beh. Wasser	Rohwasser	beh. Wasser
I. Versuch						
Leucht- vibrionen	120 Liter	3 Sekunden	8°	10·5°	100 000	50
	"	"	"	10·5	"	45
	"	"	"	11·0	"	12
	"	"	"	11·0	"	17
	"	"	"	11·0	"	20
	"	"	"	11·0	"	14
II. Versuch						
Bacterium coli	120 Liter	3 Sekunden	8·2°	10·0°	75 000	63
	"	"	8·2	10·0	80 000	35
	"	"	8·2	10·0	80 000	25
	"	"	8·2	10·0	80 000	40
	"	"	8·2	10·0	80 000	69
	"	"	9·0	10·5	70 000	7
III. Versuch						
Bacterium prodigios.	120 Liter	3 Sekunden	7·5°	9·2°	150 000	4
	"	"	7·5	9·2	200 000	7
	"	"	7·5	9·2	170 000	2
	"	"	7·5	9·2	170 000	12
	"	"	8·0	9·5	160 000	8
	"	"	8·0	9·5	160 000	7
IV. Versuch						
Sporenbildner von 20 Min.	120 Liter	3 Sekunden	10°	12°	3000	1
Resistenz	"	"	"	"	3200	2
gegen	"	"	"	"	3200	2
strömenden	"	"	"	"	3200	1
Wasserdampf	"	"	"	"	3100	2
	"	"	"	"	3000	3

ÜBER TRINKWASSERBEHANDLUNG MIT ULTRAVIOLETTEN STRAHLEN. 7

Das Ergebnis war also eine außerordentliche Keimverminderung in sämtlichen Fällen und ist in Anbetracht der enorm hohen Keimzahlen, mit denen wir zuerst arbeiteten, als überraschend günstig zu bezeichnen. Da wir jedoch niemals ein absolut keimfreies Wasser erhielten, so wählten wir eine Bestrahlungsdauer von 6 Sekunden, die allerdings nur auf Kosten der stündlichen Wasserlieferungsmenge zu erzielen war (60 Liter pro Stunde). Die Mengen der zugesetzten Testbakterien blieben hierbei ungefähr die gleichen:

Tabelle III.

Testbakterien	Wasser- menge in einer Std.	Ein- wirkungs- zeit	Temperatur		Keimzahl in 1 ccm		Anreicherung	
			Roh- wasser	beh. Wasser	Roh- wasser	beh. Wasser	10 ccm	200 ccm

V. Versuch.

Leucht- vibrien	60 Liter	6 Sekunden	8.0°	10.5°	25 000	0	+	+
	"	"	8.0	"	75 000	1	+	+
	"	"	8.5	"	60 000	0	0	+
	"	"	8.5	"	60 000	1	0	+
	"	"	8.5	"	60 000	2	0	+
	"	"	8.5	"	70 000	0	0	0

VI. Versuch.

Bacterium coli	60 Liter	6 Sekunden	7.5°	9.0°	50 000	0	+	+
	"	"	7.8	9.0	50 000	0	0	0
	"	"	8.0	9.3	45 000	1	+	+
	"	"	8.0	9.3	45 000	2	0	+
	"	"	8.0	9.3	55 000	1	0	+
	"	"	8.0	9.3	55 000	0	0	0

VII. Versuch.

Bacterium prodigios.	60 Liter	6 Sekunden	7.0°	8.7°	60 000	1	0	+
	"	"	7.2	8.8	60 000	1	+	+
	"	"	8.0	10.0	70 000	0	0	0
	"	"	7.9	10.0	70 000	0	0	0
	"	"	7.9	9.9	65 000	2	+	+
	"	"	7.6	9.5	65 000	0	0	+

Tabelle III. (Fortsetzung.)

Testbakterien	Wasser- menge in einer Std.	Ein- wirkungs- zeit	Temperatur		Keimzahl in 1 ccm		Anreicherung	
			Roh- wasser	beh. Wasser	Roh- wasser	beh. Wasser	10 ccm	200 ccm

VIII. Versuch.

Sporenbildner	60 Liter	6 Sekunden	10.0°	12.0°	3000	0	0	0
von 20 Min.	"	"	9.7	11.0	3500	0	+	+
Resistenz	"	"	9.7	11.0	3500	0	+	+
	"	"	9.6	10.9	3200	0	0	0
	"	"	9.5	11.0	2900	0	0	0
	"	"	9.9	11.4	3400	0	+	+

Sämtliche Platten und Anreicherungen wurden bei allen Versuchen mehrere Tage beobachtet.

Die Ergebnisse sind, wie aus Tabelle III ersichtlich ist, günstiger als bei unseren ersten Versuchen, wenn auch nur in der Minderzahl der Versuche ein absolut keimfreies Wasser erzielt werden konnte.

Weiterhin suchten wir festzustellen, welche Resultate sich bei entsprechend geringeren Keimzahlen, wie wir sie bereits bei den Versuchen mit Sporenbildnern benutzt hatten, ergeben würden. Dadurch glaubten wir uns auch möglichst den Bedingungen zu nähern, wie sie bei einer Einführung der Apparate in die tägliche Praxis unter im allgemeinen günstigen Wasserverhältnissen gegeben sein würden. Dabei erzielten wir unzweifelhaft günstigere Resultate.

Tabelle IV.

Testbakterien	Wasser- menge in einer Std.	Ein- wirkungs- zeit	Temperatur		Keimzahl in 1 ccm		Anreicherung	
			Roh- wasser	beh. Wasser	Roh- wasser	beh. Wasser	10 ccm	200 ccm

IX. Versuch

Leucht- vibrionen	120 Liter	3 Sekunden	8.0°	10.5°	3100	0	0	+
	"	"	8.2	10.4	2900	0	0	+
	"	"	7.9	9.0	3050	0	0	+
	"	"	8.1	9.9	3200	0	0	0
	"	"	7.5	9.2	3700	0	0	+
	"	"	7.5	9.2	4000	0	0	0

Tabelle IV. (Fortsetzung.)

Testbakterien	Wasser- menge in einer Std.	Ein- wirkungs- zeit	Temperatur		Keimzahl in 1 ccm		Anreicherung	
			Roh- wasser	beh. Wasser	Roh- wasser	beh. Wasser	10 ccm	200 ccm
X. Versuch.								
Bacterium coli	120 Liter	3 Sekunden	8.1°	9.8°	3060	0	+	+
	"	"	8.2	10.0	4000	1	+	+
	"	"	7.9	9.0	2500	0	+	+
	"	"	7.5	9.0	2100	0	0	0
	"	"	7.6	9.2	3000	1	+	+
	"	"	7.2	8.9	2900	0	0	0
XI. Versuch.								
Bacterium prodigios.	120 Liter	3 Sekunden	7.5°	9.2°	1900	0	0	+
	"	"	7.4	8.8	2100	0	0	0
	"	"	7.6	9.3	3000	0	0	0
	"	"	7.0	8.7	2500	0	0	+
	"	"	6.9	8.4	2800	0	0	+
	"	"	6.8	8.2	2000	0	0	0
XII. Versuch.								
Hefe	120 Liter	3 Sekunden	7.2°	9.0°	1000	9		
	"	"	7.5	9.3	1100	8		
	"	"	7.5	9.3	1100	16		
	"	"	7.6	9.4	1000	4		
	"	"	7.6	9.5	1000	2		
	"	"	7.6	9.5	1000	3		

Die gleichen Versuche wiederholten wir dann nochmals bei einer Bestrahlungsdauer von 6 Sekunden.

Tabelle V.

XIII. Versuch.								
Leucht- vibrien	60 Liter	6 Sekunden	7.2°	8.9°	2100	0	0	0
	"	"	7.4	9.2	2000	0	0	0
	"	"	7.0	9.0	1800	0	0	+
	"	"	6.8	8.7	1700	0	0	+
	"	"	6.9	8.4	2000	0	0	0
	"	"	7.2	9.1	1900	0	0	0
XIV. Versuch.								
Bacterium coli	60 Liter	6 Sekunden	6.9°	8.7°	1700	0	+	+
	"	"	6.9	8.5	1900	0	+	+
	"	"	7.0	9.0	2050	0	0	0
	"	"	7.1	9.1	1970	1	+	+
	"	"	6.8	8.8	1890	1	+	+
	"	"	7.2	9.0	2000	0	0	+

Tabelle V. (Fortsetzung.)

Testbakterien	Wasser- menge in einer Std.	Ein- wirkungs- zeit	Temperatur		Keimzahl in 1 ccm		Anreicherung	
			Roh- wasser	beh. Wasser	Roh- wasser	beh. Wasser	10 ccm	200 ccm

XV. Versuch.

Bacterium	60 Liter	6 Sekunden	7.0°	8.7°	1500	0	0	0
prodigios.	"	"	7.5	9.2	1900	1	+	+
"	"	"	7.2	9.0	1850	1	+	+
"	"	"	8.0	9.7	1800	0	+	+
"	"	"	8.1	10.0	1790	0	0	0
"	"	"	8.0	9.9	1820	1	+	+

XVI. Versuch.

Hefe	60 Liter	6 Sekunden	6.9°	8.1°	1200	5		
"	"	"	6.9	8.1	1200	7		
"	"	"	7.1	9.0	1100	6		
"	"	"	7.1	9.0	1100	4		
"	"	"	7.3	9.1	1000	1		
"	"	"	7.3	9.1	1000	3		

Zunächst sehen wir bei einem Vergleich dieser Ergebnisse, daß die Resultate auch bei einer längeren Einwirkungsdauer (6 Sekunden) der ultravioletten Strahlen nicht entsprechend günstiger sind als bei einer kürzeren (3 Sekunden).

Des weiteren fanden wir aber auch bei diesen verhältnismäßig günstigen Versuchsanordnungen nicht eine durchaus gleichmäßige Einwirkung der ultravioletten Strahlen. Neben absolut keimfreien Wasserproben erhielten wir immer solche, die, wenn auch nur in ganz geringen Mengen, Keime enthielten.

Aus den bisherigen Versuchen dürfte wohl schon hervorgehen, daß neben der Dauer der Bestrahlung und einer ausgiebigen Bewegung des zu behandelnden Wassers die Zahl der im Wasser befindlichen Keime eine erhebliche Rolle spielt.

Wir gingen daher dazu über, die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf keimarmes Wasser festzustellen. Der Apparat wurde direkt an die Wasserleitung angeschlossen. Der Keimgehalt des Hamburger Leitungswassers betrug während unserer Versuche im Durchschnitt 5 bis 7 Keime pro Kubikzentimeter. Nach Entnahme einer Rohwasserprobe schalteten wir den Strom ein und prüften dann wieder bei verschiedener Bestrahlungsdauer. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle VI.

Tabelle VI.

Leitungs- wasser	Wasser- menge in einer Std.	Ein- wirkungs- zeit	Keimzahl		Anreicherung		Temperatur	
			Roh- wasser	beh. Wasser	10 ccm	200 ccm	Roh- wasser	beh. Wasser
XVII. Versuch.								
	60 Liter	6 Sekunden	7	0	0	0	12.5°	13.0°
	"	"	5	0	0	+	12.0	13.1
	"	"	6	0	0	0	12.0	13.1
	"	"	6	0	0	0	11.9	12.8
	"	"	5	0	0	0	10.5	11.7
	"	"	5	0	0	+	10.5	11.7
XVIII. Versuch.								
	120 Liter	2 Sekunden	8	0	0	0	12.8°	13.9°
	"	"	5	0	0	0	12.8	13.9
	"	"	7	0	0	0	12.7	14.0
	"	"	8	0	0	0	13.0	15.0
	"	"	8	0	0	0	13.1	14.9
	"	"	6	2	+	+	13.1	14.9
XIX. Versuch.								
	240 Liter	1½ Sek.	7	0	0	0	8.9°	9.4°
	"	"	6	1	+	+	9.0	9.5
	"	"	6	0	0	0	9.2	9.9
	"	"	7	0	0	0	9.5	9.4
	"	"	8	0	0	0	8.7	9.1
	"	"	5	1	+	+	8.9	9.4

Im ganzen wurde also ein günstiges, wenn auch nicht gerade gleichmäßiges Resultat erzielt. Die guten Ergebnisse bei einer Bestrahlungsdauer von nur 1½ Sekunden sind wohl in erster Linie auf die durch den stärkeren Druck bewirkte ausgiebige Bewegung und Durchmischung des Wassers zurückzuführen, abgesehen von dem günstigen Umstand des sehr niedrigen Keimgehaltes überhaupt.

Des Interesses wegen suchten wir noch festzustellen, ob die bisherigen immerhin günstigen Ergebnisse stark beeinträchtigt würden, wenn wir auf Filtration des Testmaterials verzichteten. Da wir bei einer Bestrahlungsdauer von 3 Sekunden nach unseren früheren Versuchen annehmen durften, daß wir nicht sehr günstige Ergebnisse erzielen würden, so prüften wir nur bei einer Bestrahlungsdauer von 6 Sekunden. Aus dem gleichen Grunde prüften wir auch nur mit geringem Zusatz von Testmaterial. Die Unterschiede gegenüber unseren bisherigen Ergebnissen sind, wie aus Tabelle VII hervorgeht, durchaus nicht so wesentlich, wie wir eigentlich nach den Angaben in der Literatur hätten erwarten sollen.

Tabelle VII.

Testbakterien	Wasser- menge in einer Std.	Ein- wirkungs- zeit	Temperatur		Keimzahl in 1 ccm	
			Rohwasser	beh. Wasser	Rohwasser	beh. Wasser

XX. Versuch.

Leucht- vibrien	60 Liter	6 Sekunden	8.5°	10.2°	4000	3
	"	"	8.5	10.4	3700	4
	"	"	8.6	10.5	3900	2
	"	"	7.2	9.2	2750	5
	"	"	7.5	9.5	3000	7
	"	"	7.0	9.0	3300	11

XXI. Versuch.

Bacterium coli	60 Liter	6 Sekunden	6.9°	8.5°	2100	6
	"	"	7.0	9.0	3000	4
	"	"	7.0	9.0	3500	5
	"	"	6.7	8.8	4200	9
	"	"	6.8	8.2	3300	8
	"	"	7.3	9.0	3000	12

XXII. Versuch.

Bacterium prodigios.	60 Liter	6 Sekunden	7.5°	9.4°	2900	7
	"	"	7.4	9.0	3100	6
	"	"	7.4	9.2	3700	15
	"	"	8.0	10.0	4000	9
	"	"	7.9	9.8	3850	12
	"	"	6.8	8.7	3600	7
	"	"	6.9	8.5	3050	8

XXIII. Versuch.

Sporenbildner von 20 Min. Resistenz	60 Liter	6 Sekunden	6.8°	8.5°	4000	4
	"	"	7.2	9.0	3700	7
	"	"	7.0	9.0	3500	9
	"	"	7.5	9.5	2900	8
	"	"	8.0	10.0	3000	5
	"	"	7.8	9.8	3100	10

Schließlich setzten wir noch bei einem weiteren Versuch auf etwa 200 Liter Wasser 200 ccm Abwasser zu. Das Abwasser wurde durch Filtration durch ein Papierfilter nur von den grössten Bestandteilen befreit, eine völlige Klärung dadurch nicht erzielt. Die Wasser-Abwasser-mischung war klar.

Testbakterien	Wasser- menge in einer Std.	Ein- wirkungs- zeit	Temperatur		Keimzahl in 1 ccm	
			Rohwasser	beh. Wasser	Rohwasser	beh. Wasser
XXIV. Versuch.						
Abwasser	60 Liter	6 Sekunden	7.0°	8.8°	1200	2
	”	”	7.0	8.8	1200	1
	”	”	7.0	8.8	1200	2
	”	”	7.5	9.0	1500	3
	”	”	7.5	9.0	1500	1
	”	”	7.5	9.0	1500	1

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen, die sich, wie wir bemerken wollen, auf dies eine von uns geprüfte Modell, sowie auf Wasser von der chemischen Zusammensetzung des Hamburger Leitungswassers erstreckten, sind folgende:

Bei Bestrahlung von sehr keimhaltigem Wasser mit ultraviolettem Licht tritt innerhalb weniger Sekunden eine außerordentlich starke Keimverminderung ein. Bei längerer Bestrahlungsdauer, die in praxi nach Zahl, Resistenz und Art der abzutötenden Keime gewählt werden müßte, ist in vielen Fällen ein steriles Wasser zu erhalten. Der Apparat liefert jedoch bei seiner jetzigen Konstruktion zu ungleichmäßige Ergebnisse, um als Ersatz für die gewöhnlichen Wassersterilisationsverfahren, wie sie bisher besonders in Krankenhäusern, wissenschaftlichen Instituten usw. in Gebrauch sind und sich auch durchaus bewährt haben, in Betracht zu kommen. Vorläufig jedenfalls können wir die Sterilisierung von Wasser mit ultraviolettem Licht weder als „sicherer“ noch „einfacher“ bezeichnen und wir glauben, jetzt schon sagen zu können, daß bei der Versorgung selbst kleinerer Orte mit Trinkwasser die Behandlung des Wassers mit ultraviolettem Licht die bisher üblichen Verfahren wohl kaum im weiteren Umfange verdrängen wird, zumal eine Vorklärung oder Filtration durch geeignete Filter zur Sicherstellung der Lieferung einwandfreien Wassers als Vorbehandlung unerläßlich erscheint.

Über die Betriebskosten in der Praxis gibt eine inzwischen von Grimm und Weldert¹ erschienene Arbeit eingehend Aufschluß.

Die Ergebnisse unserer Versuche haben gezeigt, daß der Sterilisationserfolg im wesentlichen von dem Keimgehalt des Rohwassers abhängig ist, und zwar dürfte die Keimzahl höchstens etwa zwischen 500 bis 2000 Keimen pro Kubikzentimeter schwanken. Eine Abtötung dieser Keimmenge müßte

¹ Grimm u. Weldert, *Mitteilungen aus der Kgl. Prüfungsanst. f. Wasserversorgung u. Abwasserbeseitigung*. 1911. Hft. 14. S. 85.

aber sicher verlangt werden, da wir an Sterilisationsverfahren ganz andere Anforderungen zu stellen haben, als an die Leistungen der im Großbetriebe gebräuchlichen Sandfilter.

Die Trinkwassersterilisation mittels der ultravioletten Strahlen kann dagegen bei fortschreitender Technik wohlberufen erscheinen, in einfacherer Weise die Aufgabe zu lösen, Truppen vor allen Dingen im Felde mit Trinkwasser zu versorgen, das sicher frei von pathogenen Keimen sein muß. Deelemann¹ hat zu diesem Zwecke einen fahrbaren Trinkwasserbereiter entworfen. Als Sterilisationsgefäße verwendet er zwei von Nogier modifizierte Apparate, mit einer Minutenleistung von 10 Liter (600 Liter pro h.) pro Lampe, eine Leistung, die wohl als ausreichend zu betrachten ist, da die zurzeit Verwendung findenden fahrbaren Trinkwasserbereiter eine durchschnittliche Stundenleistung von 500 Litern haben.

Praktische Versuche sind mit dem zunächst nur theoretisch konstruierten Trinkwasserbereiter noch nicht bekannt geworden. Über die Wirksamkeit der Lampen nach der Nogierschen Modifikation können wir kein Urteil abgeben, da wir nicht mit ihnen gearbeitet haben. Wir wollen nur mit einigen Worten auf die Art der zur Verwendung gelangenden Filter eingehen, da uns dieser Punkt bei der praktischen Nutzbarmachung der ultravioletten Strahlen für die Wasserversorgung nächst der Verbesserung der Lampe selbst der wichtigste zu sein scheint. Deelemann schaltet bei seinem Trinkwasserbereiter nach einem der Vorreinigung dienenden Grobfilter, das unerlässlich ist, zwei Feinfilter ein und zwar wählt er Berkefeldfilter „als zweckmäßig, weil diese leicht, dauerhaft und ergiebig sind und neben einer sehr guten Reinigung auch sehr leicht Bedienung und Ersatz der unbrauchbar gewordenen Filterkerzen gewährleisten“. ²

Unserer Meinung nach dürften jedoch im Ernstfalle nur solche Trinkwasserbereiter Verwendung finden, die nicht mit so subtilen Einrichtungen ausgestattet sind, wie sie gerade die Berkefeldfilter — genau wie alle anderen Filterkerzen — darstellen.

Auf die Zerbrechlichkeit brauchen wir nicht weiter einzugehen, da dieser Nachteil genügend bekannt sein dürfte.

Die Ergiebigkeit der Berkefeldfilter ist allerdings innerhalb der ersten 24 Stunden wohl ausreichend, ebenso wie ihre Leistungsfähigkeit in bakteriologischem Sinne. Dann aber befriedigen sie weder meist bezüglich des bakteriologischen Ergebnisses noch der Liefermenge. Selbst bei Ver-

¹ A. a. O.

² Deelemann hat nach einer während der Drucklegung erschienenen Mitteilung — *Deutsche militär-ärztl. Zeitschrift*, 1911, Nr. 6, S. 247 — diese Feinfilter ausgeschaltet, da „es sich bei neueren Versuchen herausgestellt hat, daß . . . ein Feinfilter nur Widerstand für den Betrieb bietet.“

wendung von absolut klarem Wasser scheiden sich aus diesem Bestandteile auf und in der Filtersubstanz ab, so daß innerhalb kurzer Zeit das Durchpumpen immer schwerer und in gleichem Maße die Ergiebigkeit geringer wird.

Eine Reinigung der Filterkerzen müßte also, um eine ausreichende Leistung sicherzustellen, mindestens einen um den anderen Tag erfolgen, ein Verlangen, das im Ernstfalle doch wohl öfters auf Schwierigkeiten stoßen dürfte.

Ein Versagen der Filter in bakteriologischer Beziehung würde allerdings nicht von besonderer Bedeutung sein, da zur sicheren Abtötung pathogener Keime das Wasser noch der Einwirkung der ultravioletten Strahlen ausgesetzt wird.

Bei dem fahrbaren Armeetrinkwasserbereiter (Modell 1909¹) ist aus den oben erwähnten Gründen auch wieder von der Anwendung von Berkefeldfiltern und ähnlichen Filterkerzen gänzlich abgesehen worden. Eine Einführung der erwähnten Filter können wir nach unseren Erfahrungen nicht als Verbesserung betrachten.

Als Grobfilter würden wir die Verwendung der von der Sukrofilter- und Wasserreinigungsgesellschaft-Berlin vertriebenen Sukrofilter vorschlagen. Das Wasser, das der Behandlung mit ultravioletten Strahlen unterworfen werden soll, braucht nur die eine Forderung zu erfüllen, daß es vollständig klar ist. Den bakteriologischen Anforderungen, die an Trinkwasser gestellt werden, braucht es nicht zu entsprechen, da ja sonst die Behandlung mit ultravioletten Strahlen überflüssig ist. Schon die von Barr² in unserem Institut an einem kleinen Modell eines Sukrofilters ausgeführten Untersuchungen haben ergeben, „daß diese Filter wohl geeignet sind, ein Wasser von Verunreinigungen mancher Art zu befreien und dabei auch eine nicht unerhebliche Herabsetzung der im Rohwasser enthaltenen Keime zu bewirken.“ Versuche mit einem großen Modell, das als Vorklärer für die Zwecke der Beschaffung von Trinkwasser im Felde in Betracht kommen könnte, sind von Hilgermann³ angestellt worden. Das Filter ist „quantitativ außerordentlich leistungsfähig. Die Klarheit des Filtrats war im Gegensatz zu dem sehr trüben schmutzigen Rohwasser (Rheinwasser) einwandfrei.“

¹ Hoffmann u. Kutscher, Zur Trinkwasserversorgung der Truppen im Felde. *Berliner klin. Wochenschrift*. 1910. Nr. 24. S. 1137.

² Barr, Versuche mit einem Sukrofilter. *Gesundheits-Ingenieur*. 1910. Nr. 25. S. 461.

³ Hilgermann, Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit der Sukrofilter. *Ebenda*. 1911. Nr. 10. S. 188.

Schlußsätze.

1. Schon durch kurz dauernde Behandlung mit ultraviolettem Licht wird die Keimzahl selbst sehr keimhaltiger Wässer erheblich herabgesetzt. Auch die Dauerformen der Sporenbildner werden in gleicher Weise beeinflußt.

2. Das Sterilisationsergebnis ist, klares Rohwasser vorausgesetzt, abhängig von dem Keimgehalt des Rohwassers, der ausgiebigen Durchwirbelung des Wassers während der Bestrahlung, sowie von der Bestrahlungsdauer.

3. Mit dem Apparat Type U. 110 (100 bis 120 Volt, 4 Ampère) läßt sich unter den von uns gewählten Versuchsbedingungen bei Benutzung eines nicht sehr keimhaltigen klaren Wassers (500 bis 2000 Keime pro Kubikzentimeter) ein für praktische Zwecke in den meisten Fällen hinreichendes Trinkwasser in einer Menge von 60 Litern pro Stunde erzielen.

Sehr keimreiches bzw. nicht klares Wasser müßte einer geeigneten Vorbehandlung unterzogen werden.