[Aus dem Institut für Infectionskrankheiten zu Berlin.]

Die Desinfection der städtischen Abwässer mit Kalk.

Von

Stabsarzt Prof. **Pfuhl**,
commandirt zum Institut für Infectionskrankheiten.

Eine Reihe von Städten ist wegen Mangels an Rieselfeldern gezwungen, ihre Abwässer vor der Einleitung in die Flüsse zu reinigen. Wie aus den Verhandlungen des Deutschen Vereins für öffentliche Gesundheitspflege zu Frankfurt a./M. im Jahre 1888 hervorgeht, haben die Städte dabei mehr auf die Klärung als auf die Desinfection Werth gelegt. Unter gewissen Umständen jedoch, namentlich bei Typhus- oder Choleraepidemie, ist die Desinfection der Abwässer durchaus erforderlich, da die Infectionskeime, die mit den Darmentleerungen in das Canalwasser und so in das Flusswasser hineingelangen, sonst diejenigen Personen inficiren können, die dieses Wasser als Trink- oder Brauchwasser benutzen.

Auch bei der jetzigen Choleraepidemie wird die Ausbreitung dieser Krankheit in manchen Städten auf diese Art der Infection zurückgeführt.

Unter den chemischen Mitteln, die man jetzt zur Klärung benutzt, befindet sich schon ein vortreffliches Desinfectionsmittel, nämlich der Kalk; doch ist es fraglich, ob die Art und Weise, wie dieser jetzt zur Anwendung kommt, auch eine wirkliche Desinfection der Abwässer, d. h. eine Abtödtung der etwa darin enthaltenen Typhus- oder Cholerabacillen gewährleistet.

Um hierüber in's Klare zu kommen, versuchte ich zuerst festzustellen, in welchem Verhältniss Kalk zu den Abwässern hinzugefügt werden muss, um gerade noch Typhus- oder Cholerabacillen zu vernichten.

Bereits in meiner Arbeit: „Ueber die Desinfection der Typhus- und Choleraausleerungen mit Kalk“¹ hatte ich beiläufig erwähnt, dass eine Probe des Berliner Canalwassers, die ich mit Typhusbacillen versetzt hatte, durch den Zusatz von 1 Procent Kalkmilch binnen einer Stunde desinficirt war, wobei 1 Procent Kalkmilch 1.37 ‰ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ entsprach. Da ich mich damals mit der Desinfection des Canalwassers nicht weiter beschäftigt hatte, so blieb die Frage noch offen, ob das Canalwasser nicht schon durch einen geringeren Kalkzusatz desinficirt werden könnte.

Es blieb mir deshalb noch übrig, meine Untersuchung über die Desinfection des Canalwassers mit Kalk² zu vervollständigen. Auch schien es mir angezeigt, meine eigene frühere Angabe mit einer vervollkommenen Methode nachzuprüfen.

Die Verbesserung der Methode bestand namentlich darin, dass ich behufs Feststellung der Wirksamkeit des Kalkes Proben des damit behandelten Canalwassers nicht, wie früher, in Gelatine, sondern in Bouillon brachte und diese so lange bei Brüttemperatur hielt, bis es sich herausstellte, ob die Typhusbacillen noch auskeimten oder bereits durch den Kalk abgetödtet waren. Es hatte sich nämlich bei vergleichenden Versuchen ergeben, dass Typhusbacillen, die in Folge der schädigenden Einwirkung eines entwicklungshemmenden Mittels in der Gelatine bei Zimmertemperatur nicht mehr auskeimten und auch in Agar-Agar bei Brüttemperatur keine Entwicklung mehr zeigten, doch noch in Bouillon bei Brüttemperatur eine Vermehrung erfuhren. Ein bezüglicher Versuch wird weiter unten mitgetheilt werden. Es ist selbstverständlich, dass ich nach solchen Erfahrungen nur das günstigste Nährmittel, die Bouillon, anwandte.

Dies war jedoch nur angängig, wenn das Canalwasser nur eine Art von Mikroorganismen enthielt und nicht ein Gemenge von vielen Arten, wie sie im frischen Canalwasser vorkommen. Ich musste daher das Canalwasser zunächst sterilisiren und dann mit Typhus- oder mit Cholera-bacillen inficiren.

Zu meinen Versuchen stand mir nur Berliner Canalwasser zur Verfügung, doch werde ich am Schluss meiner Arbeit zeigen, wie die Kalkdesinfection bei jedem beliebigen Canalwasser mit Erfolg durchgeführt werden kann, wenn sie unter der Controle eines Sachverständigen steht.

¹ *Diese Zeitschrift.* Bd. VI. S. 103.

² Bei der Desinfection der städtischen Abwässer kann vorläufig mit dem Kalk kein anderes Mittel concurriren, da der Kalk am billigsten und für die landwirthschaftliche Verwerthung des aus dem Canalwasser gefällten Schlammes am wenigsten schädlich ist.

Das Berliner Canalwasser sieht im frischen Zustande dunkelgrau aus und riecht fade und unangenehm, wenn auch nicht direct nach Fäkalien. Es war fast immer schwach alkalisch und bedurfte zur Neutralisation etwa 1 ‰ Normalsäure. Nach der Sterilisation, die der Zeitersparniss wegen stets in einem Autoklav bei einem Druck von fünf Atmosphären und einer Temperatur von 160° vorgenommen wurde, hatte die Alkalescenzenz meist etwas zugenommen,¹ etwa 1 ‰ Normalsäure entsprechend.

Zu je 50^{cem} sterilisirter Canalflüssigkeit werde stets $\frac{1}{4}$ ^{cem} einer 24 Stunden alten Typhus- oder Cholera-Bouillon-Cultur gesetzt. Die Flüssigkeit enthielt dann, wie ich mich durch die Aussaat in Gelatineplatten überzeugte, mindestens ebenso viele Keime, wie die frische Canalflüssigkeit.

Während ich früher bei der Desinfection von Darmausleerungen den Kalk in Form von Kalkmilch hatte anwenden müssen, durfte ich jetzt beim Canalwasser trockenes Kalkhydratpulver benutzen, da das letztere sich in der Flüssigkeit allmählich auflöst und dabei seine desinficirenden Wirkungen entfaltet.

Selbstverständlich hat die Kalkmilch, z. B. eine 20 procentige, vor dem Kalkhydratpulver einen kleinen Vorsprung, weil in ihr bereits ein kleiner Theil des Kalkhydrats gelöst ist. Was ich bei meinen Laboratoriumsversuchen mit Kalkhydratpulver erreiche, wird man also in der Praxis mit der äquivalenten Menge Kalkmilch vielleicht noch einige Minuten früher erzielen.

Das trockene Kalkhydratpulver zog ich deshalb vor, weil es sich bequemer und sicherer dosiren lässt als die Kalkmilch. Ich stellte es mir aus gebranntem Marmor her, indem ich etwa 100^{gmm} mit 60 Procent abgekochten Wassers auf dem Boden eines leicht erwärmten Topfes löschte, wobei ich ein besonders feines, bei der geringsten Bewegung verstäubendes Pulver erhielt.

Nach dem Zusatz des Kalkhydratpulvers liess ich durch leichtes Schütteln des Kölbchens die Flüssigkeit mit dem zu Boden gesunkenen Kalkhydratpulver dauernd in Bewegung erhalten, weil sich dabei das Kalkhydrat schneller löst und gleichmässiger mit der Flüssigkeit mischt.

Nur bei dieser Versuchsanordnung kann man erwarten, dass so viel gelöstes Kalkhydrat, als zur Umsetzung mit den organischen Bestandtheilen des Canalwassers und zur Abtödtung der Infectionserreger nöthig ist, aus dem auf dem Boden lagern-

¹ Diese Zunahme der Alkalescenzenz war erfolgt, weil in Folge der Einwirkung des heissen Dampfes die Glaskölbchen, in denen sich die Canalflüssigkeit befand, geringe Mengen Natriumcarbonat abgegeben hatten.

den Depot von Kalkhydratpulver prompt in die Flüssigkeit übergeht. Dieses leichte Schütteln durfte ich auch deshalb nicht unterlassen, weil in den städtischen Klärvorrichtungen die mit Chemikalien versetzten Abwässer ebenfalls fortwährend in Bewegung sind.

Immer wurden mehrere Kölbchen mit Canalwasser gleichzeitig in Angriff genommen und mit verschiedenen Kalkzusätzen versehen. Um mich zu überzeugen, wie lange es bis zur Abtötung der Infectionskeime dauerte, entnahm ich in bestimmten Zeitintervallen aus jedem Kölbchen $\frac{1}{2}$ ^{cem} des Inhalts behufs Uebertragung in Nährsubstrate. Als solche kamen bei einem Vorversuche Bouillon, Agar-Agar und Gelatine, und zwar je 10 ^{cem}, gleichzeitig zur Anwendung, um zunächst zu entscheiden, welches von diesen Mitteln für das Auskeimen von Typhusbacillen am geeignetsten wäre. Ueber den Ausfall dieses Versuches, wie er sich in den nächsten Tagen darstellt, giebt die folgende Tabelle Aufschluss, worin + die Weiterentwicklung von Keimen, 0 das Fehlen jeder Entwicklung bezeichnet.

Tabelle I (für sterilisirtes Canalwasser).

Kalkhydrat- zusatz	Bouillon bei Körpertemperatur		Agar-Agar bei Körpertemperatur		Gelatine bei Zimmertemperatur	
	Probeentnahme		Probeentnahme		Probeentnahme	
	nach 1 Stunde	nach 2 Stunden	nach 1 Stunde	nach 2 Stunden	nach 1 Stunde	nach 2 Stunden
$\frac{1}{5}$ ‰	+	+	+	+	+	+
$\frac{1}{2}$ ‰	+	0	0	0	0	0
1 ‰	0	0	0	0	0	0

Aus diesem Vorversuche erhellt, dass Typhusbacillen, deren Entwicklungsfähigkeit durch die einstündige Einwirkung von $\frac{1}{2}$ Procent Kalkhydrat in gewissem Grade beeinträchtigt war, in festen Nährböden, nämlich in Gelatine bei Zimmertemperatur und in Agar-Agar bei Brüttemperatur, nicht mehr auskeimten, dagegen in Bouillon bei Körpertemperatur (37.5°) sich noch reichlich vermehrten.

Da mit den Proben, die $\frac{1}{2}$ ^{cem} betrugen, gleichzeitig eine kleine Menge gelösten Kalkhydrats in die Bouillon übergeführt wurde, so hatte ich mich vorher davon überzeugt, dass dieser Zusatz nicht entwicklungshemmend wirkt. Denn selbst, wenn ich $\frac{1}{2}$ ^{cem} concentrirtes Kalkwasser in 10 ^{cem} Bouillon brachte, wurde eine Entwicklungshemmung der ausgesäten Typhus- oder Cholerabacillen nicht bemerkt. Um das mit übergeführte Kalkhydrat so viel als möglich zu verdünnen, habe ich schliesslich die Proben nicht in 10, sondern in 50 ^{cem} Bouillon gebracht. Doch fielen dabei die Resultate nicht anders aus als vorher.

Schon aus dem Vorversuche ist zu ersehen, dass ein Zusatz von $\frac{1}{2} \text{‰}$ Kalkhydrat nicht genügt, um die Typhusbacillen in 1 bis 2 Stunden abzutöten, ebensowenig ein Zusatz von $\frac{1}{2} \text{‰}$ in einer Stunde, dass dagegen unter einer zwei Stunden langen Einwirkung von $\frac{1}{2} \text{‰}$ Kalkhydrat die Typhusbacillen absterben, desgleichen bei schon einstündiger Einwirkung von 1‰ . Dieses Ergebniss wurde durch mehrfache Versuche bestätigt.

Weiterhin suchte ich zu ermitteln, ob die Typhusbacillen volle zwei Stunden lang der Einwirkung von $\frac{1}{2} \text{‰}$ Kalkhydrat ausgesetzt bleiben mussten, oder ob schon eine kürzere Zeit genügte. Dabei fand ich, dass auch schon $1\frac{1}{2}$ Stunden ausreichten.

Hieran schlossen sich Versuche mit Cholera, bei denen sich herausstellte, dass die Cholerabacillen noch rascher durch Kalkhydrat abgetötet wurden als die Typhusbacillen, da sie nicht erst nach $1\frac{1}{2}$ Stunden, sondern schon eine Stunde nach dem Zusatz von $\frac{1}{2} \text{‰}$ Kalkhydrat zu Grunde gingen.

Ueber das Verhalten der Typhus- und Cholerabacillen in sterilisirtem Canalwasser gegen Kalkhydrat giebt Tabelle II Auskunft.

Tabelle II (nur für sterilisirtes Canalwasser gültig).

Zusatz von Kalkhydrat	Typhus		Cholera	
	Probeentnahme		Probeentnahme	
	nach 1 Stunde	nach $1\frac{1}{2}$ Stunden	nach 1 Stunde	nach $1\frac{1}{2}$ Stunden
$\frac{1}{2} \text{‰}$	+	0	0	0
1‰	0	0	0	0

Bei den bisherigen Versuchen hatte ich das sterilisirte Canalwasser mit 24stündigen Bouillonculturen von Typhus- oder Cholerabacillen versetzt, so dass alle Bacillen frei in der Flüssigkeit umherschwammen und den Angriffen des Kalkhydrats von allen Seiten ausgesetzt waren. Ich suchte nun diese Verhältnisse ungünstiger zu gestalten, indem ich statt $\frac{1}{4} \text{ cem}$ Bouilloncultur mehrere Klümpchen Agarcultur zufügte. Doch wurden die Bacillen auch jetzt in derselben Zeit vernichtet wie vorher.

Es fragt sich nun, ob der Zusatz von Kalkhydrat, der zur Abtödtung der Typhus- und Cholerabacillen in sterilisirtem Canalwasser genügt, auch für nicht sterilisirtes Canalwasser ausreicht oder ob der Zusatz erhöht werden muss. Das letztere wäre dann nothwendig, wenn das nicht sterilisirte Canalwasser das hinzugefügte Kalkhydrat stärker zersetzt und da-

durch mehr in seiner Wirksamkeit beeinträchtigt als das sterilisirte. Hierüber gab der folgende Versuch Aufschluss, der nach einigen orientierenden Vorversuchen zur Ausführung kam. Mit frisch geholtem Canalwasser wurden 12 Kölbchen gefüllt, jedes mit 50^{ccm}; sechs davon wurden im Autoklav sterilisirt. Dies nahm gegen $\frac{5}{4}$ Stunden in Anspruch. Während dieser Zeit wurden die übrigen sechs Kölbchen im Eisschrank gehalten. Nach Beendigung der Sterilisation und rascher Abkühlung der ersten 6 Kölbchen wurden sämmtliche 12 Kölbchen mit je einer Oese einer Agarcultur von Typhusbacillen beschickt. Dann erhielten von den ersten 6 Kölbchen vier einen Zusatz von $\frac{1}{2}$ ‰, zwei einen solchen von 1 ‰ Kalkhydrat, während die nicht sterilisirten Kölbchen je $\frac{1}{2}$ ‰ mehr bekamen, nämlich vier je 1 ‰ und zwei je $1\frac{1}{2}$ ‰. Nach 1, bzw. $1\frac{1}{2}$ stündigem Umschütteln, also nach solchen Zeiträumen, wo die Typhus- bzw. Cholerabacillen in sterilisirtem Canalwasser bereits abgestorben sind, wurden die Kölbchen mit einigen Tropfen einer Phenolphthaleinlösung versetzt und rasch mit Normaloxalsäurelösung titirt. Die Oxalsäure wurde deshalb zum Titiren gewählt, weil sie den kohlensauren Kalk, der sich bei der Einwirkung des gelösten Kalkhydrats auf das Canalwasser gebildet hat, nicht angreift, sondern nur das gerade vorhandene gelöste Kalkhydrat anzeigt.

Wie gross der Alkaleszenzgrad in dem sterilisirten Canalwasser zu der Zeit ist, wo die Typhus- bzw. Cholerabacillen bereits abgetödtet sind, lässt sich aus Tabelle III sub Rubrik *a* ersehen. Ferner giebt Rubrik *b* an, wie viel Kalkhydrat man zum frischen Canalwasser mehr hinzusetzen muss, wenn man die gleiche Alkaleszenz erreichen will wie beim sterilisirten.

Tabelle III.

a) Sterilisirtes Canalwasser.

Zusatz von Kalkhydrat in ‰	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1
Zeitraum bis zum Titiren in Stunden . . .	1	1	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	1	1
Wie viel ccm Normaloxalsäure verbraucht? .	0.6	0.7	0.6	0.6	1.05	1.05

b) Nicht sterilisirtes Canalwasser.

Zusatz von Kalkhydrat in ‰	1	1	1	1	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
Zeitraum bis zum Titiren in Stunden . . .	1	1	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	1	1
Wie viel ccm Normaloxalsäure verbraucht? .	0.65	0.7	0.65	0.7	1.15	1.2

Darnach erfordert das frische, nicht sterilisirte Canalwasser $\frac{1}{2}$ ‰ mehr Kalk als das sterilisirte, wenn nach 1 bzw. $1\frac{1}{2}$ Stunden der gleiche Alkaleszenzgrad erreicht werden soll.

Aus Tabelle II und III lässt sich nun sehr einfach zusammenstellen, wie viel Kalkhydrat man zu frischem Canalwasser hinzusetzen und wie lange man dieses einwirken lassen muss, um die darin enthaltenen Typhus- oder Cholerabacillen abzutödten. Dieses Endergebniss liefert Tabelle IV.

Tabelle IV (für frisches Canalwasser gültig).

Zusatz von Kalkhydrat	Typhus		Cholera	
	nach 1 Stunde	nach 1½ Stunden	nach 1 Stunde	nach 1½ Stunden
1 ‰	+	0	0	0
1½ ‰	0	0	0	0

Hiernach ist mindestens ein Zusatz von 1 ‰ Kalkhydrat nothwendig, wenn man frisches Canalwasser in 1 oder 1½ Stunden von Cholera- bzw. Typhuskeimen befreien will. Dabei ist es noch ein unbedingtes Erforderniss, dass das Canalwasser mit dem zugesetzten Kalk fortwährend in Bewegung ist. Denn bei Versuchen, die ich über die desinficirende Wirkung des Kalkhydrats in nicht bewegtem Canalwasser anstellte, konnte ich bis zu 3 ‰ zusetzen, ohne dass Typhusbacillen in zwei Stunden abstarben.

Soweit mir die Klärvorrichtungen der verschiedenen Städte bekannt sind, erfüllt keine von diesen die Forderung, dass die in das Canalwasser etwa hineingelangten Typhus- oder Cholerabacillen sämmtlich abgetödtet werden. Fast überall ist der Kalkzusatz zu klein. Auch wird die Wirkung des Kalks an manchen Orten durch die Beimischung von anderen Fällungsmitteln erheblich beeinträchtigt. So wird z. B. bei Gegenwart der so beliebten schwefelsauren Thonerde ein grosser Theil des Kalkes sofort in unwirksamen Gyps verwandelt. Es ist deshalb nothwendig, dass der Kalk erst allein einwirkt. Die von mir angegebenen Zusatzmengen sind übrigens auch ausreichend, um das Canalwasser vollständig zu klären.

Soweit ich mir bis jetzt von solchen Desinfectionsanlagen, die den jetzigen hygienischen Anforderungen wirklich entsprechen, ein Bild machen kann, dürfte die Ausführung nicht complicirter sein, als bei manchen bereits bestehenden Anlagen.

Da man in der Praxis nicht reines Kalkhydrat verwenden kann, so ist es nothwendig, dass der gerade zur Verfügung stehende Kalk von einem Chemiker nach Bedarf, namentlich nach jedem Eintreffen einer neuen Lieferung, auf seinen Gehalt an reinem Kalk untersucht wird, um darnach diejenigen Zusatzmengen zu bestimmen, die 1 bzw. 1½ ‰ Kalkhydrat entsprechen.

Ferner hat der Chemiker von Zeit zu Zeit durch Titrieren mit Normaloxalsäure den Alkaleszenzgrad des Canalwassers zu dem Zeitpunkte zu bestimmen, wenn es nach 1 bzw. $1\frac{1}{2}$ stündiger Einwirkung des Kalkes die Desinfektionsanlage verlässt. Entspricht der Grad der Alkaleszenz dem in Tabelle III angegebenen, so ist die erforderliche Desinfection erreicht. Ist dagegen die Alkaleszenz geringer, so ist entweder der technische Betrieb nicht in Ordnung, oder der Kalkzusatz zu klein. Dadurch kann auch der Chemiker bei den verschiedenen Abwässern ermitteln, welchen Kalkzusatz jedes erfordert.