[Aus dem Hygienischen Institut der Universität Berlin.]
(Direktor: Geheimrat Prof. Dr. C. Flügge.)

Über Desinfektion mit trockener Heißluft.

Von

Dr. med. **Heinrich Lange,**

Assistenzarzt der Reserve beim Barackenlazarett auf dem Tempelhofer Felde,
kommandiert zur Dienstleistung am Institut.

Während in der älteren Desinfektionspraxis die trockene Hitze eine sehr große Rolle spielte, wurde sie späterhin durch die Untersuchungen R. Kochs¹ und seiner Schüler² gänzlich von dem strömendem Wasserdampf verdrängt. Wurde doch durch Koch einwandfrei erwiesen, daß der Wasserdampf mit ungleich größerer Sicherheit und Schnelligkeit selbst die widerstandsfähigsten Bakterien abtötet und in dichte Objekte eindringt. So hat man jahrzehntelang die Nachteile, die auch der Wasserdampfdesinfektion anhaften, insbesondere die Schädigung von Leder, Gummi, Büchern usw., mit in Kauf genommen und das Verwendungsgebiet der trockenen Heißluft fast nur auf das Laboratorium, besonders zur Glassterilisierung, beschränkt, obwohl diese Desinfektionsmethode gerade gegenüber jenen empfindlichen Objekten noch bei recht hohen Temperaturen viel schonender ist. Dieser letztere Vorzug macht es verständlich, daß neuerdings mehrfach das Bestreben hervorgetreten ist, der Heißluftdesinfektion eine Form zu geben, die ihr auch in der modernen Desinfektionspraxis eine Stelle einräumt. Schumburg³ versuchte 1902, die Eindringungszeit durch künstlich erhöhte Feuchtigkeit und Luftbewegung

¹ R. Koch und Wolffhügel, Untersuchungen über die Desinfektion mit heißer Luft. *Mitteilungen aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamt.* Bd. I. S. 301. 1881.

² Koch, Gaffky, Löffler, Versuche über die Verwertbarkeit heißer Wasserdämpfe zu Desinfektionszwecken. *Ebenda.* S. 322.

³ Schumburg, Über die Desinfektionskraft der heißen Luft. *Diese Zeitschrift.* Bd. XLI. S. 167. 1902.

zu verkürzen, legte später aber auf die letztere keinen Wert mehr, sondern schlug zur Desinfektion ruhende Luft von 100° und 55 bis 65 Prozent relativer Feuchtigkeit vor. Ballner¹ wandte diese Methode angeblich mit gutem Erfolge zur Bücherdesinfektion an. Wie Schumburg selbst betont, ist jedoch die Konstanterhaltung jenes Feuchtigkeitsgrades für die Sicherheit der Desinfektionswirkung und die unversehrte Erhaltung der Objekte unerlässlich. Dieser Anforderung kann aber in der Praxis kaum entsprochen werden.

Da die Verkürzung der Eindringungszeit bei hohen Temperaturen nicht leicht erreichbar zu sein schien, so verzichteten Flügges Schüler Mosebach², Findel³ und Konrich⁴ auf dieses Ziel und versuchten mit niedrigeren Temperaturen, aber recht ausgedehnter Desinfektionsdauer auszukommen. Das endgültige Ergebnis dieser Untersuchungen war, daß man ohne Feuchthalten der Luft Leder, Bücher, Uniformen usw. ohne jede Schädigung durch ruhende Heißluft von etwa 80° bei 48stündiger Einwirkung sicher von pathogenen Bakterien aller Art befreien kann. Diese lange Desinfektionsdauer stand aber naturgemäß der ausgedehnteren Einführung des Verfahrens in die Desinfektionspraxis im Wege.

Seit Kriegsbeginn hat trotzdem das Heißluftverfahren von neuem die allergrößte Bedeutung gewonnen. Die Aufgabe, dampfempfindliche Objekte in großen Massen schnell zu entlausen, fand durch diese Methode ihre beste Lösung. Nach Heymann⁵ genügt zur Abtötung von Läusen und Nissen selbst im Inneren schwer zugänglicher Kolli (zusammengeschnürte militärische Ausrüstungsgegenstände aus Leder) eine 5- bis 6stündige Einwirkung von 80°. Zur Verkürzung dieser Zeit empfahl er auf Grund einiger Vorversuche die Bewegung der heißen Luft mittels Zirkulatoren.

In weiterer Verfolgung dieser Erfahrungen glaubte Rautmann⁶, bewegte Heißluft über die Entlausung hinaus für die allgemeine Des-

¹ Ballner, Über die Desinfektion von Büchern, Drucksachen u. dgl. mittels feuchter Heißluft. Leipzig, Wien 1907.

² Mosebach, Untersuchungen zur Praxis der Desinfektion. *Diese Zeitschrift*. Bd. L.

³ Findel, Desinfektion von Büchern usw. mit heißer Luft. *Diese Zeitschrift*. Bd. LVII.

⁴ Konrich, Zur Desinfektion von Lederwaren und Büchern mit heißer Luft. *Diese Zeitschrift*. Bd. LXXI.

⁵ Heymann, Bekämpfung der Kleiderläuse. *Zeitschr. f. ärztl. Fortbildungswesen*. 1915, und *Diese Zeitschrift*. Bd. LXXX. 1915.

⁶ Rautmann, Untersuchungen über den Desinfektionswert stark bewegter heißer Luft. *Zentralblatt für Bakteriologie usw.* Bd. LXXVII. Heft 1.

infektionspraxis nutzbar machen zu können, und zwar an der Hand von Versuchen, die er mit einem von Ingenieur Vondran-Halle konstruierten Apparat anstellte. In demselben wurden die Objekte trockener heißer Luft von 130 bis 160° ausgesetzt, die durch einen Ventilator in ständiger Zirkulation erhalten wurde. Angeblich drang hierbei die Hitze auch in sehr dichte Objekte, z. B. in eine gerollte Cambrikbinde von 20 m Länge und 10 cm Breite, in 15 bis 30 Minuten ein. Rautmann kommt daher zu dem Schluß, daß, „da durch die starke Luftströmung ein Eindringen der Hitze in die schlechten Wärmeleiter ermöglicht und daher auch im Inneren derselben nach relativ kurzer Zeit eine hohe Temperatur erreicht wird, sich die stark bewegte Heißluft auch zur Bakteriendesinfektion verwenden läßt“.

Hiernach schien in der Tat die trockene bewegte Heißluft geeignet zu sein, mit der Dampfdesinfektion in Wettbewerb zu treten. Auf Anregung von Herrn Geheimrat Flügge habe ich daher die theoretischen Grundlagen eines solchen Verfahrens eingehender festzulegen und daraus die Grundsätze abzuleiten versucht, die für seine praktische Verwertung in Frage kommen.

A. Laboratoriumsversuche über die Verwendbarkeit der Heißluft zu Desinfektionszwecken.

I. Versuche über die Wirksamkeit trockener ruhender und bewegter Heißluft auf Bakterien.

Über die Wirkung trockener Heißluft auf Bakterien ist auffällig wenig bekannt. „Exakte Versuche über das Absterben der an Objekten angetrockneten Bakterien unter der Einwirkung höherer Temperaturen“, schreibt Graßberger¹, „sind nicht in dem Umfange vorgenommen worden, wie dies bei den übrigen desinfizierenden Maßnahmen inzwischen erfolgt ist“, und Croner² hat in seinem neuen Lehrbuch der Desinfektion nur wenige diesbezügliche Versuche aus der gesamten Literatur zusammenstellen können. Offenbar hatte man für Jahrzehnte unter dem Einfluß der ablehnenden Stellungnahme Kochs jegliches Interesse für die Trocken-desinfektion verloren, ohne daran zu denken, daß seine Versuche noch vor der Entdeckung der meisten uns praktisch interessierenden Bakterien angestellt waren und lediglich die Abtötung von Milzbrandsporen als Maßstab für die Brauchbarkeit eines Desinfektionsverfahrens im Auge hatten. Daher schienen mir zunächst Versuche über die Temperaturen

¹ Graßberger, Desinfektion, in Rubner, Gruber und Ficker, *Handbuch der Hygiene*. Bd. III. Abt. 1.

² Croner, *Lehrbuch der Desinfektion*. Leipzig 1913.

und deren Einwirkungsdauer angebracht, durch welche die am häufigsten in Betracht kommenden Krankheitskeime durch trockene Heißluft abgetötet werden.

Tabelle I.

Desinfektionsversuche mit ruhender Heißluft.

		60°	80°	100°	110°	120°	140°	150°	170°
1. Cholera	10'		+	-	-	-	-	-	
	15'		-		-				
	20'		-	-	-	-	-	-	
	30'	+	-		-	-	-		
	1 Std.	-				-	-		
	2 Std.								
2. Ruhr	10'		+	+	+	-			
	15'				-				
	20'		+	+	-	-			
	30'		+	-	-				
	1 Std.	+	+	-					
	2 Std.	+	-						
3. Diphtherie	10'				+	+	-	-	
	15'	+	+	+	+				
	20'				±	-	-	-	
	30'	+	+	-	-	-			
	1 Std.	+	+	-					
	2 Std.	+	-	-					
4. Typhus	10'		+	+		+	-	-	
	15'								
	20'		+	+		-	-	-	
	30'		+	+	+	-	-		
	1 Std.	+	+	+	-	-	-		
	2 Std.	+	+	-	-				
5. Coli	10'					+	-	-	
	15'						-		
	20'				+	+	-	-	
	30'			+	-	-	-		
	1 Std.		+	+	-	-	-		
	2 Std.	+	+	-	-	-			
6. Staphylokokk.	10'					+	+	-	-
	15'						-		
	20'					+	-	-	-
	30'				+	-	-		
	1 Std.			+	±	-			
	2 Std.		+	±	-				
7. Milzbrand (mit Sporen)	10'							+	-
	15'						+		
	20'							+	-
	30'					+	+	+	-
	1 Std.				+	+	-	-	
	2 Std.				+	-			

+ = nicht abgetötet, - = abgetötet.

Gesamtergebnis.
Es werden abgetötet bei:

	60°	80°	100°	110°	120°	140°	150°	170°
1. Cholera	in 1 Std.	15'	10'					
2. Ruhr		2 Std.	30'	15'	10'			
3. Diphtherie		2 Std.	30'	30'	20'	10'		
4. Typhus			2 Std.	1 Std.	20'	10'		
5. Coli			2 „	30'	30'	10'		
6. Staphylokokken				1—2 Std.	30'	15'	10'	
7. Milzbrandsporen					2 Std.	1 Std.	30'	10'

Zu diesem Zweck wurden 24stündige Kulturen von Coli-, Typhus-, Cholera-, Diphtherie- und Ruhrbazillen sowie von Staphylokokken und sporenhaltigen Milzbrandbazillen in Bouillon abgeschwemmt, mit der Aufschwemmung 1 qcm große, sterile Leinwandlappchen getränkt, 2 bis 3 Stunden lang getrocknet, in einfache, sterile Fließpapierbeutel gelegt und in Trockenschränke von verschiedener Hitze gebracht. Daß hier die Proben tatsächlich den protokollierten Temperaturen ausgesetzt waren, wurde dadurch gewährleistet, daß sie dicht neben das Thermometergefäß gelegt wurden. Nach dem Versuch wurden die Proben (nebst Kontrollen) in Bouillon gebracht und mindestens 3 Tage lang bei 37° gehalten.

Die Versuchsbedingungen und Ergebnisse im einzelnen sind in Tab. I zusammengestellt. Danach werden bei der praktisch noch allenfalls brauchbaren Temperatur von 110° Choleravibrionen in kürzester Zeit abgetötet; Ruhrbazillen nach 15 Minuten; Coli- und Diphtheriebazillen nach 30 Minuten; Typhusbazillen erst nach 1 Stunde, Staphylokokken nach 1 bis 2 Stunden. Milzbrandsporen werden erst bei 120° in 2 Stunden abgetötet, kommen aber für unsere Zwecke nicht in Frage. In der allgemeinen Desinfektionspraxis müßte also trockene Heißluft von 110° mindestens 1 bis 1½ Stunden einwirken, um sämtliche in Betracht kommenden Krankheitserreger abzutöten. Sollen auch Staphylokokken sicher vernichtet werden, so wären sogar 2 Stunden in Anschlag zu bringen.

Man könnte daran denken, die Wirkung der Heißluft entweder durch Erhöhung der Temperatur oder durch Verlängerung der Zeit zu steigern. Allein für die Zwecke der praktischen Desinfektion sind beide Wege nicht gangbar. Die Temperaturhöhe ist durch die Notwendigkeit der Schonung der Objekte begrenzt. Nach Konrich¹ kann man Ledersachen und Bücher

¹ Konrich, a. a. O.

einer häufigen, 24- bis 48stündigen Erhitzung auf 75 bis 95° aussetzen, ohne sie zu schädigen. Der gleichen Temperatur unterwarf Heymann¹ 6 Stunden lang militärische Uniformen und Ausrüstungsgegenstände aller Art behufs Entlausung und beobachtete an ihnen (mit einziger Ausnahme der Filzhelme), auch bei mehrfacher Wiederholung, gleichfalls keinerlei Schädigungen. Steigerte ich die Temperatur auf 105 bis 110°, so vertrugen Zivilkleider und Uniformen, trockenes Lederzeug, Leinwand, Gaze, Bindfäden, Papier u. a. m. eine einmalige 4stündige Behandlung ohne Veränderungen, während bei einer mehrmaligen öfters Stoffasern, Leder und Papier an Elastizität einbüßten und Verfärbungen eintraten. Besonders empfindlich erwies sich feuchtes Schuhwerk. Dies sah ich gelegentlich schon beim ersten Male hart und brüchig werden, konnte es allerdings noch durch baldiges, nachträgliches Anfeuchten und heftiges Kneten wieder biegsam machen. Bei 120° aber besteht die dringende Gefahr einer nicht mehr zu bessernden Schädigung. Auf Grund dieser Versuche müssen wir also im Gegensatz zu Rautmann, der noch Temperaturen von 130 bis 160° empfiehlt, unbedingt daran festhalten, daß 110° für die Praxis das äußerste, noch allenfalls zulässige Maximum der Erhitzung darstellen.

Auch eine beliebige Verlängerung der Erhitzungsdauer erscheint aus praktischen Gründen ausgeschlossen. So empfehlenswert für besonders empfindliche und entbehrliche Objekte nach Konrichs Vorgang die vielstündige Anwendung relativ niedriger Hitzegrade ist, so wenig eignet sich dieses Verfahren für die Großdesinfektion, die mit einem höchstens vierstündigen Betriebsturnus rechnen muß.

Mit dem strömenden Wasserdampf kann sich demnach die trockene Hitze durchaus nicht messen. Im Hinblick auf Rautmanns² Beobachtungen liegt aber der Gedanke nahe, ob nicht die Wirksamkeit der heißen Luft durch Bewegung gesteigert werden könnte. Es wurden daher (ebenso wie früher vorbereitete) Bakterienproben ohne Fließpapierbeutel in einem weiter unten beschriebenen Apparat einem Heißluftstrom von 100° und 1·3 m pro Sekunde Geschwindigkeit, gleich lange wie vorher der ruhenden Luft, ausgesetzt. Das Ergebnis war negativ. Selbst wenn aber, vielleicht bei größerer Luftgeschwindigkeit, die Bakterien etwas schneller absterben würden, so wäre dies praktisch ohne Bedeutung; denn selbstverständlich würden nur die oberflächlich gelagerten Keime dieser stärkeren Einwirkung unterliegen, während alle tiefer gelegenen ihr entzogen wären.

¹ Heymann, a. a. O.

² Rautmann, a. a. O.

Wenn wirklich die Luftbewegung den Desinfektionsprozeß in dem Maße begünstigt, wie Rautmann es angibt, so kann dies also nicht auf einer stärkeren Schädigung der Bakterien, sondern höchstens auf einer Beschleunigung des Wärmeeintritts in die Objekte, auf Verkürzung der „Eindringungszeit“, beruhen. Welche Momente hierbei eine Rolle spielen, habe ich in folgendem festzustellen versucht.

II. Versuche über die Geschwindigkeit der Durchwärmung verschiedener Objekte in ruhender und bewegter Heißluft.

Zur Feststellung der Eindringungsgeschwindigkeit der Hitze in verschiedenartige Objekte ließ ich mir einen besonderen Apparat (Fig. 1)

Fig. 1.

bauen, wobei mich die Herren Ingenieure Fröhlich und Haber (von der hiesigen Firma Theodor Fröhlich) mit dankenswerten Ratschlägen unterstützt haben.

Ein doppelwandiger, dicht schließender Trockenschrank von $28 \times 28 \times 45$ cm Innenraum wurde mit zwei Öffnungen (*a* und *b*) versehen. Die Öffnung *a* (4 cm unterhalb der Decke, von 4×16 cm Querschnitt) stand durch ein 8 cm langes, mit Thermometer versehenes Rohr mit einem elektrisch betriebenen Zentrifugalventilator in Verbindung und ließ die bewegte Luft in den Kasten eintreten; die kreisrunde Ausströmungsöffnung *b* von 12 cm lichter Weite befand sich am Kastenboden und ging in ein Blech-

rohr von 10 cm Durchmesser über, das die Luft in den Ventilator zurückführte. Für Versuche mit ruhender Luft konnten beide Öffnungen mit Blechstutzen verschlossen werden.

Die Anheizung des Schrankes erfolgte durch einen automatisch regulierten Gasringbrenner, welcher die Innentemperatur auf 100° hielt und bei Versuchen mit bewegter Luft durch Bunsenbrenner unterstützt wurde. Eine fortlaufende Beobachtung der Innentemperatur war durch ein frei im Raume dicht neben den Versuchsobjekten hängendes Thermoelement ermöglicht. Zum Schutze vor Wärmeabstrahlung war die gesamte Apparatur mit dichten Asbestlagen bekleidet; die eingebrachten Objekte wurden vor der strahlenden Wärme durch eine Asbestplatte am Kastenboden und durch einen Kartonpapierzylinder von 20 cm Durchmesser und 28 cm Höhe geschützt.

Die bei a eintretende Luft wurde mittels eines durchlochten, 10 cm unterhalb der Decke eingelegten Bleches gleichmäßig über den Kastenquerschnitt verteilt. Ihre Geschwindigkeit ließ sich durch Vorschaltwiderstände regulieren und betrug zwischen 1.3 bis 2.5 m pro Sekunde. Zur ständigen Kontrolle der Gleichmäßigkeit des Luftstromes während eines Versuches diente ein Krellsches Pneumometer im Abströmungsrohr.

Sämtliche Versuche wurden ohne jede Befeuchtung der Luft angestellt.

1. Versuche über den Einfluß der Körperstruktur auf die Eindringungszeit der Wärme.

Um stets unter möglichst gleichen Versuchsbedingungen arbeiten zu können, ließ ich mir „Testkörper“ anfertigen. Es waren dies Drahtnetz-

Fig. 2.

Fig. 3.

körbchen oder mit Draht gestützte Säckchen aus dünner Leinwand (Fig. 2), von 10 cm Höhe und 9 cm Durchmesser, die mittels eines Bügels in dem Trockenkasten aufgehängt werden konnten. Die Körbchen waren oben offen; die gänzlich geschlossenen Leinwandsäckchen hatten in der Decke zwei sich kreuzende, je 1.5 cm große Einschnitte, die zur Einführung eines Maximalthermometers und eines Thermoelements dienten und beim Versuch mit Watte abgedichtet wurden. Um die Gewißheit zu haben, daß sich Thermoelement und Hg-Kugel des Maximalthermometers an gleicher Stelle genau in der Mitte des Testkörpers befanden,

wurde am Maximalthermometer neben der Hg-Kugel ein Glassporn (s. Fig. 3) angeschmolzen, in dem die ösenförmig gebogenen Drähte der Thermonadel eingehängt wurden.

Um zu prüfen, inwieweit die mechanische Struktur der Körper die Eindringungsgeschwindigkeit der Heißluft beeinflusst, füllte ich die Behälter mit Material von verschiedener Korngröße und setzte sie zunächst ruhender Heißluft aus. Der Temperaturgang im Inneren des Objektes, ebenso wie die Kastentemperatur, wurde mindestens alle 10 Minuten an einem Millivoltmeter abgelesen.

Die übersichtlichsten Versuchsbedingungen boten drei Testkörper dar, von denen der eine mit „Grobsand“ von 1.5 bis 2 mm Korngröße, der andere mit „Feinsand“ von einer Korngröße unter 0.5 mm, der dritte mit einem Gemisch von Feinsand und Lehm gefüllt war. Die einzelnen Kornsorten waren sorgfältig gesiebt, so daß jede nur Elemente von annähernd gleicher Größe enthielt. In solchen gleichkörnigen Materialien ist bekanntlich die Summe aller lufthaltigen Zwischenräume, das „Porenvolum“, stets dasselbe (etwa 38 Prozent), gleichviel, welchen Durchmesser die Körner haben — eine Tatsache, die sich auch bei unseren Testkörpern in dem gleichen Volumgewicht der Grob- und Feinsandfüllung (1050 g pro Testkörper) aussprach. Im Gegensatz zu dem Porenvolum ist die Weite der Zwischenräume, die „Porengröße“, eine Funktion der Korngröße: sie wird um so kleiner, je feiner die Elemente werden. Mischt man Materialien von verschieden großem Korn derart miteinander, daß sich die feineren Elemente in die Poren zwischen die größeren einlagern, so verringern sich Porenvolum und Porengröße, je nach dem Mischungsverhältnis bis zu äußerst niedrigen Werten. Ein solches überaus dichtes Versuchsobjekt haben wir dadurch hergestellt, daß wir Feinsand mit 33 Prozent Lehm innig mischten. Naturgemäß wuchs hierbei das Volumgewicht der Füllung gegenüber dem reinen Feinsand; es betrug 1238 g.

Der Grobsand wurde in ein Drahtnetz Körbchen oben beschriebener Form mit 1.4 mm Maschenweite, die feinkörnigen Materialien in die Säckchen aus dünner Leinwand eingefüllt, und die Eindringungsgeschwindigkeit der Wärme für jeden Testkörper in ruhender und bewegter Heißluft bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tab. II zusammengestellt.

An den Versuchen in ruhender Luft fällt zunächst die durchgehends sehr lange Eindringungszeit auf; selbst im günstigsten Falle betrug sie noch 2 Stunden 10 Minuten. Beim Vergleich der einzelnen Testkörper zeigt sich eine gewisse Verschiedenheit der Eindringungsgeschwindigkeit, die dafür spricht, daß die Wärme — wie zu erwarten war — in dem grobkörnigen, also großporigen Material schneller als in das Feinmaterial einzudringen vermag.

Tabelle II.

Testkörper		Eindringungszeit bei etwa 100° in Min.			Be- merkungen
Füllmaterial	Korngröße u. Gewicht usw.	in ruhen- der Luft	in bewegter Luft von 1.3 m pr. Sek. 1.8 m pr. Sek.		
Grobsand	1.5—2 mm; 1050 g; Drahtnetz- körbchen	130	100	80	—
Feinsand	unter 0.5 mm; 1050 g; Leinwand- säckchen	150	120	105	—
Feinsand + Lehm (33 %)	unter 0.5 mm; 1238 g; Leinwand- säckchen	160	150	150	—
Bimskies	2—3.5 mm; 171 g; Leinwand- säckchen	40	15	15	—
„	1—1.5 mm; 191 g; Leinwand- säckchen	70	50	30	—
„	10—300 μ; staub- förmiges Material	80 100*	100	100	* Nach Er- schütterung wie in be- wegter Luft
Seiden- flocken	100 g 200 g	90 nach 190' 93°	100 nach 110' 93°; 170	—	—

Große Unterschiede wiesen die Versuche mit bewegter Luft auf: Hier betrug z. B. bei einer Luftgeschwindigkeit von 1.8 m pro Sekunde die Eindringungszeit im Grobsand nur 80 Minuten, im Feinsand dagegen 1 Stunde 45 Minuten und im Feinsand-Lehmgemisch sogar 2 Stunden 30 Minuten. Mit unzweifelhafter Deutlichkeit zeigt sich also, daß in der Tat die Porengröße der ausschlaggebende Faktor für den schnelleren oder langsameren Eintritt der Wärme in die Objekte ist, ein Ergebnis, das im Einklang mit Rubners¹ Beobachtungen

¹ Rubner, *Archiv für Hygiene*. Bd. LV.

„Über das Eindringen der Wärme in feste Objekte und Organteile tierischer Herkunft“ steht.

Diese Abhängigkeit der Eindringungszeit von der Porengröße muß sich nun aber noch in anderer, uns hier besonders interessierender Richtung geltend machen. Wie ein Blick auf die Tab. II zeigt, verkürzt die Luftbewegung die Eindringungsdauer z. T. in sehr erheblichem, mit wachsender Geschwindigkeit ansteigendem Maße. So sank beim Grobsand die Eindringungszeit von 130 Minuten in der Ruhe bei einer Luftbewegung von 1.3 m pro Sekunde auf 100, von 1.8 m pro Sekunde sogar auf nur 80 Minuten herab. Auch bei Feinsand zeigen sich deutlich Ausschläge zugunsten der bewegten Luft; doch erreichen diese längst nicht mehr die Höhe wie beim Grobsand. Beim Feinsand-Lehmgemisch dagegen kommt kaum noch eine Beschleunigung zustande. Es ergibt sich also, daß die Luftbewegung nur beim Vorhandensein größerer Poren und bei relativ hohen, in der Praxis schwer herstellbaren Strömungsgeschwindigkeiten eine erheblichere Beschleunigung der Durchhitzung herbeiführt.

Gegen die Verallgemeinerung dieser Beobachtungen ließe sich vielleicht einwenden, daß sie an Körpern mit solider Grundsubstanz angestellt sind, während es sich in der Praxis zumeist um in sich poröse Objekte handelt. Wie sich *ceteris paribus* an solchen Körpern die Eindringungszeiten verhalten, zeigen uns die folgenden Versuche. Zu diesen verwendete ich „Bimskies“, einen in der vulkanischen Eifel und deren Umgegend in großen Lagern vorkommenden Lavaschaum, der mit kapillaren Poren reichlichst durchsetzt ist, ein sehr niedriges spezifisches Gewicht besitzt und zur Herstellung der „Rheinischen Schwemmsteine“ benutzt wird. Aus den kirsch kern- bis walnußgroßen Stücken des Rohprodukts stellte ich mir durch Mahlen und Sieben gleichfalls drei Materialien verschiedener Korngröße her, von 2 bis 3.5 mm, von 1 bis 1.5 mm und von unter 0.5 mm. Leider gestattete der Bimskies infolge seiner Brüchigkeit nicht die Herstellung eines so gleichmäßigen, von feineren Elementen freien Kornes wie der Sand. Das kleinste Korn enthielt sogar vorzugsweise nur mehligartig feinste Partikel bis zu mikroskopischer Kleinheit.

Die Ergebnisse stimmen mit den früheren Beobachtungen durchaus überein. Abgesehen davon, daß — als Folge des andersartigen Grundmaterials — im ganzen die Eindringungszeiten nicht so ausgedehnt waren, wie beim Sand, tritt wie früher auch hier der Einfluß der Porengröße auf die Eindringungszeit klar hervor und zwar wiederum in bewegter Luft deutlicher als in ruhender. Auch die höhere Wirkung der stärkeren Luftbewegung gegenüber der schwächeren läßt sich wenigstens an der mittleren

Korngröße konstatieren, während für das gröbere Korn offenbar schon bei der schwächeren Luftgeschwindigkeit von 1·3 m pro Sekunde eine maximale Wirkung erzielt ist.

Recht auffällige Ergebnisse hatte ich mit dem feinsten Bimskieskorn. Hier trat im Wind nicht nur keine Verkürzung, sondern sogar eine Verlängerung der Eindringungszeit ein. Dieses paradoxe Phänomen war, wie genauere Versuche erwiesen, durch die Erschütterung des gesamten Apparates bei der Ventilatorbewegung verursacht. Wurde nämlich der Motor bei geschlossenem Ein- und Ausstrom in Bewegung gesetzt, und auf diese Weise der Testkörper in ruhender Luft ebenso stark erschüttert wie in bewegter, so stieg die Eindringungszeit auf die gleiche Dauer an, hielt sich nunmehr auf dieser Höhe, wenn der Versuch ohne Erschütterung wiederholt wurde, und sank erst wieder auf die frühere kürzere Frist, wenn die Füllmasse durch Kneten zu ihrem ursprünglichen Volum aufgelockert war. Diese Beobachtungen bilden eine willkommene Bestätigung für die ausschlaggebende Bedeutung der Porengröße. Wie man nämlich an dem Testkörper aus staubförmigem Material deutlich sah, war er nach der Erschütterung erheblich in sich zusammengesunken, d. h. die feinsten Partikel hatten sich offenbar noch in einen Teil der vorher bestehenden Porenräume hineingelagert und damit die Dichtigkeit des Objektes wesentlich erhöht.

Im Anschluß hieran machte ich noch einige Versuche mit organischem Material. Zu diesem Behufe füllte ich die Testkörper mit Seidenflocken („Mungo“). Die Ergebnisse entsprachen unseren bisherigen Beobachtungen. Wurde der Testkörper dicht, mit 200 g des Materials, gefüllt, so wurden in seinem Inneren nach 190 Minuten erst 93° erreicht. Bei halb so starker Füllung war er bereits nach 90 Minuten durchwärmt, freilich eine an sich recht lange Eindringungszeit.

Fassen wir die Ergebnisse der bisherigen Versuche zusammen, so kommen wir zu dem Schluß, daß die trockene Heißluft in Ruhe wie in Bewegung in feinporige Objekte, wie sie zumeist in der Praxis vorliegen, nur außerordentlich langsam eindringt, und daß eine Beschleunigung des Eindringens durch kräftige Bewegung der Heißluft nur bei grobporigen Objekten zustande kommt, bei feinporigen Objekten dagegen ganz fortfällt.

Von einem Wettbewerb der trocknen, ruhenden oder bewegten Heißluft mit dem strömenden Wasserdampf kann daher gar keine Rede sein, da letzterer bekanntlich selbst in ein „Bettenkoll“ von $\frac{3}{4}$ m Höhe und $\frac{1}{2}$ m Durchmesser in längstens $\frac{3}{4}$ bis 1 Stunde eindringt und ein so schwer durchdringliches Objekt, wie den feinstporigen Testkörper, in einem Ver-

gleichsversuche sofort bewältigte. Diesen Vorzug verdankt, wie schon Rubner¹ betont hat, der strömende Wasserdampf seiner Absorption und Kondensation in feinporigen Objekten, Vorgängen, die — abgesehen von Wärmeentwicklung — dadurch so günstig wirken, daß sie in den Kapillaren luftverdünnte Räume herstellen und dadurch dem nachdrängenden Dampf den Eintritt ermöglichen. In diesen physikalisch begründeten Vorteilen kann die trockene Luft niemals den strömenden Wasserdampf erreichen. Werden wir gleichwohl durch die Notwendigkeit, dampfempfindliche Objekte zu schonen, zur Verwendung trockener Hitze veranlaßt, so werden wir uns nach wie vor mit erheblich längeren Eindringungszeiten abfinden müssen.

2. Versuche über die Durchgangszeit der Heißluft durch Kleiderstoffe.

Während die bisherigen Versuche mit voluminösen, kompakten Testkörpern angestellt waren, war nunmehr in Annäherung an die praktischen Verhältnisse noch festzustellen, welchen Einfluß auf die Eindringungszeit der Heißluft Schichten von Kleiderstoffen, insbesondere Uniformstoffen,

Tabelle III.

Einfluß der Testkörperumhüllungen auf die Eindringung heißer Luft.

Testkörper Bims Kies 2—3.5 mm Korngröße	Die Schranktemperatur (98—110°) wurde im Inneren des Testkörpers erreicht in:			Im Kochschen Dampftopf wurden 100° erreicht nach Min.
	’ruhender Luft nach Min.	bewegter Luft		
		von 1.3 m pr. Sek. nach Min.	1.8 m pr. Sek. nach Min.	
Leinwandhülle	50	10	15	
	40	15		
	40	15		
	40	10		
Leinwand + zweifach Flanell	80	70	50	
			65	
Leinwand + einfach feldgrau Tuch	70	70	70	
		80	70	
		70		
Leinwand + zweifach feldgrau Tuch	70	90	70	0
	80	90	70	
		70		
geschlossene Blechbüchse	95	—	90	95

¹ Rubner, *Archiv für Hygiene.* Bd. L.

ausüben. Es wurden daher drei mit dem leicht durchgängigen Bimskiesmaterial von 2·5 bis 3 mm Korngröße gefüllte Leinwandsäckchen mit einer doppelten Flanellage, mit einer einfachen und einer doppelten Lage von feldgrauem Tuch bekleidet und in der beschriebenen Weise ruhender und bewegter Heißluft ausgesetzt. Wie Tab. III zeigt, erfuhr zunächst in ruhender Heißluft die Eindringungszeit durch diese Umkleidungen eine sehr erhebliche (auffälligerweise bei allen drei Körpern gleichmäßige) Verzögerung. Besonders bemerkenswert aber ist, daß diese auch durch stärkere Luftbewegung nicht oder nur ganz unwesentlich verkürzt wurde. Wie schon nach den Untersuchungen Rubners¹ über die Permeabilität von Bekleidungsstoffen vorausgesetzt werden konnte, genügte bereits eine einfache Lage des feldgrauen Tuches, um die Wirksamkeit der hier anwendbaren, relativ schwachen Luftströme fast gänzlich zu vereiteln. Denn selbst in einer völlig geschlossenen Blechbüchse dauerte die Eindringung der Hitze nur 10 Minuten länger.

B. Praktische Versuche.

Als Vorversuche können einige Beobachtungen gelten, die Professor Heymann gelegentlich früherer Untersuchungen über Entlausung gemacht und bisher nur kurz mitgeteilt hat.² Die Versuche wurden in einer Kammer von 2 m Höhe, 2·5 m Länge und 2 m Tiefe (= 10 cbm) ausgeführt, die in einem Zimmer des Instituts aus Holzbohlen errichtet wurde. In ihrem Inneren waren an jeder Längsseite zweimal acht Heizelemente mit je 2 qm Heizfläche (= insgesamt 64 qm Heizfläche) aufgestellt, die mit dem unter 1 Atm. Druck stehenden Dampf der Zentralheizung gespeist wurden. Zum Versuch wurden 50 eng zusammengeschnürte Kollis, bestehend aus dem gesamten Lederzeug von 50 Infanteristen, oder ebensoviel Soldatenmäntel, Röcke und Hosen z. T. übereinander oder zu Bündeln geschnürt, aufgehangen, und die Heizkörper angestellt. Bei Chargierung mit Kollis von 15 bis 20° C Anfangstemperatur wiesen in den Seitenwänden eingefügte Thermometer bereits binnen einer Stunde 70° und mehr, nur in den untersten Schichten zwischen 60 und 70° auf. Auch Messungen mit Thermoelementen, die frei ins Innere ragten, ergaben nach dieser Zeit bereits gegen 70°. In der nächsten Stunde erfolgte ein weiterer Anstieg bis zum Beharrungszustand zwischen 80 und 90°. In die Objekte waren besonders an schwer zugänglichen Stellen, z. B. Spitzen von Stiefeln mit

¹ Rubner, Über die Permeabilität der Kleidungsstoffe. *Archiv für Hygiene*. Bd. XXIV.

² B. Heymann, a. a. O.

Tabelle IVa.
Praktische Versuche in einer Heißluftkammer
(behufs Entlausung).

Heißluftkammer. 60—90°, ohne Luftbewegung	Unten	Mittlere Höhe		Oben	
	Mitte	Mitte	Seite	Mitte	Ecke
1. 3 Stunden: Maximalthermometer					
im Tornister		58	59		54
Schaftstiefel		58	56		54
Schnürstiefel		57	60		60
Helm		68	72		
freihängend		80			
zwischen den Sachen		63	67		
2. 4 Stunden: Maximalthermometer					
im Tornister			62	65	66
Schaftstiefel		60	64·5	58	
Schnürstiefel		61	57	67·5	
Helm		77	78	78	
freihängend		86			
zwischen den Sachen		66		75	
3. 5 Stunden:					
a) 1 klein. Bündel: Rock u. Hose					
Hosentasche (ganz innen) . . .		61·5			
Rockinnentasche		78			
Rockaußentasche		82			
Außenfläche		82			
b) 1 gr. Bdl.: Mnt., Rock, Hose.					
Hosentasche (ganz innen) . . .		54·5			
Rockaußentasche		53·5			
Manteltasche		75·0			
c) Freihängend: Mant., Rock, Hose					
Manteltasche		75			
Rockinnentasche		80			
Hosentasche		81			
Maximalth. freihäng. in der Mitte .		87			
4. 6 Stunden: Maximalthermometer					4 1/2 Std.
im Tornister	62			69	67
Schaftstiefel	61·4		60	65	68·5
Schnürstiefel	62		68	69	70
Helm			80	80	81
freihängend		82			
zwischen den Sachen	62			64	
5. Ebenso: Maximalthermometer					
in Manteltasche l.		81·5			
„ r.		75	77·5		
Rockaußentasche		76·5	80		
Rockinnentäschchen, davon					
eins zugenäht!	80	56·5			
Hosentasche	81	80	82 r.		
„			79 l.		
im Ärmel	75				
unter. Mantelsaum innen . .		70·5	75		
freihängend	86				

umgeschlagenen Schäften, Rockinnentaschen usw., Maximalthermometer und Thermoelemente eingebracht. Über die Einzelheiten sowie die Ergebnisse gibt die Tabelle IVa Auskunft. Es zeigte sich, daß nach einer Betriebsdauer von 6 Stunden, wie sie vom Kriegsministerium für die Entlausungsanstalten in Aussicht genommen war, an sämtlichen Stellen mindestens 60° erreicht waren, mit einziger Ausnahme eines zufällig zugenäht gewesenen Rockinnentäschchens, in dem das durch einen engen Schlitz eingeführte Maximalthermometer nur 56.5° zeigte. Daß aber diese Temperaturgrade bereits lange genug bestanden, um die Abtötung von Läusen und Nissen zu bewirken, bewiesen andere Versuche, in denen die Erhitzung nur 3 bis 5 Stunden fortgeführt wurde. Schon nach 3 Stunden waren auch an den ungünstigsten Stellen, in den Stiefelspitzen und Taschen, mindestens 54° erreicht. Auf Grund dieser Beobachtungen empfahl Heymann unter der Maßgabe einer 5- bis 6stündigen Erhitzung auf 80 bis 90° das Heißluftkammerverfahren, natürlich in Anlagen von weniger primitiver Konstruktion als die eilig aufgeführte Versuchskammer. Auch wies er, im Hinblick auf einige vorläufige Versuche, darauf hin, daß Luftbewegung die Einwirkung der Hitze begünstige, und daher unter Umständen die Einstellung von Zirkulatoren in die Kammer in Frage kommen könne.

Zur genaueren Bestimmung der Eindringungsgeschwindigkeit in die praktisch vorkommenden Gegenstände habe ich zunächst einige Versuche in dem S. 333 beschriebenen kleinen Apparat angestellt und absichtlich Objekte gewählt, die erfahrungsgemäß dem Eintritt warmer Luft besondere Schwierigkeiten bereiten, nämlich Taschen (aus einfachem und doppeltem feldgrauen Tuch) und Schuhe.

Die Ergebnisse sind in Tab. IVb zusammengestellt. Danach scheint die Durchhitzung der Taschen und im Tornister in bewegter Luft etwas begünstigt worden zu sein. Jedoch darf man dieser geringen Beschleunigung praktisch keine große Bedeutung beilegen; denn sie läßt sich zwanglos auch durch Bildung eines „offenen Ganges“ erklären, der trotz möglichst sorgfältiger Abdichtung an irgendeiner Stelle vorhanden gewesen sein kann. Ein einziger solcher Spalt vermag zweifellos bei den praktisch vorliegenden Objekten einen feinporigen Körper in bezug auf sein Verhalten zur Luftbewegung zu einem grobporigen zu machen. Wahrscheinlich liegt hierin auch die Ursache für die ganz auffällig kurze Eindringungszeit, die, wie schon eingangs erwähnt, Rautmann an einer gerollten Cambrikbinde im Vondranapparat beobachtet hat. Bei möglichst genauer Nachahmung seines Versuchs, allerdings mit sorgfältiger Abdichtung der Eintrittsstelle für das zentrale Thermometer, konnte ich keine Verkürzung der Eindringungszeit in bewegter Luft beobachten: in Ruhe wie

Tabelle IVb. Praktische Versuche in Heißluftapparaten.

Testobjekte	Die Schranktemperatur wurde im Innern der Objekte erreicht				Desinfektions- apparat	Temperatur in Grad
	in ruhender Luft	in bewegter Luft von				
		etwa 10—20 cm pr. Sek.	1 m pr. Sek.	1·3 m pr. Sek.		
Tasche aus einfachem feld- grauen Tuch	15 Min.	—	—	10 Min.	Kleiner Versuchskasten	100
Tasche aus doppeltem feld- grauen Tuch	20 "	—	—	17 "	"	100
Militärschnürschuh offen	nach 2 Stdn. 87°	—	—	n. 2 Stdn. 92°	"	100
Infanteriestiefel gerollt	150 Min.	—	—	150 Min.	"	100
Infanteriestiefel nicht gerollt	150 "	—	110 Min.	—	Großer Heiß- luftapparat	100
Hängende Kleidungsstücke (Rock, darüber Mantel u. Hose, Rock nicht zugeknöpft)	—	50 Min.	—	—	"	120—130
Innere Rocktasche	65 Min.	60 "	—	—	"	—
—	—	60 "	—	—	"	—
Ebenso, Rock zugeknöpft	—	—	—	—	"	—
Innere Rocktasche	2 1/4 Stde.	—	1 1/4 Stde.	—	"	—
Äußere Manteltasche	1 1/4 "	—	30 Min.	—	"	—
Rock und Hosen gespreizt	0 Min.	—	0 Min.	—	"	—
Futter	—	—	—	—	"	100
Tornisterdeckel geschlossen	45 "	40 Min.	—	—	"	120—130
—	—	50 "	—	—	"	100
Tornisterdeckel offen	35 Min.	—	10 Min.	—	"	100
Helm innen	35 "	—	20 "	—	"	100
Cambrikbinde (Rolle 10 cm hoch, 9·5 cm Durchmesser)	n. 2 1/2 Stdn. 92°	—	n. 2 1/2 Stdn. 93°	—	Kleiner Versuchskasten	100
Federkissen (zusammen- geschnürt)	n. 3 3/4 " 62°	—	n. 3 " 55°	—	Großer Heiß- luftapparat	120—130
Stiefel gerollt	n. 3 Stdn. 95°	n. 3 Stdn. 89°	—	—	"	100
Hosentasche zugenäht	n. 3 " 84°	n. 3 " 90°	—	—	mit eingestell- Flügelzirkulator	—
Rocktasche zugenäht	n. 3 " 95°	n. 3 " 90°	—	—	"	—

in Bewegung waren bei einer Schranktemperatur von 100° nach $2\frac{1}{2}$ Stunden erst 92 bis 93° erreicht.

Sehr ungünstig fielen die Versuche an Schuhen aus. Bei einem Infanteriestiefel, dessen Schaft umgeschlagen war, wie es in der Praxis leicht vorkommen kann, zeigte ein in die Spitze eingebrachtes Thermometer und Thermoelement erst nach $2\frac{1}{2}$ Stunden die Außentemperatur von 100° , und zwar in ruhiger wie in bewegter Luft. Aber auch bei einem offen aufgehängten Militärschnürschuh hatte die Luftbewegung kaum einen Effekt: Nach 2 Stunden waren in der Spitze in ruhender Luft erst 87° , in bewegter Luft nur 5° mehr erreicht. Daß sich die Spitze des Schnürschuhs *ceteris paribus* langsamer erwärmte als die des Schaftstiefels, erklärt sich aus der starken, gut wärmeleitenden Benagelung des letzteren.

Um auch größere Objekte prüfen zu können, wurden ferner in einem kubischen Apparat von $80 \times 80 \times 128$ cm Innenraum Versuche vorgenommen. Seine Erwärmung erfolgte durch sechs elektrische Heizplatten am Boden und konnte durch Ein- und Ausschalten einzelner Platten leicht reguliert werden. Vor der strahlenden Wärme wurden die Objekte durch auf die Heizkörper aufgelegte Asbestplatten, bzw. ein (unten beschriebenes) Siebblech geschützt.

In der Decke sowohl wie am Boden des Kastens befand sich je eine Öffnung von 16 cm Durchmesser. Aus der oberen konnte mittels eines darüber befindlichen, elektrisch betriebenen Zentrifugalventilators die Kastenluft angesogen und in einem außen laufenden Rohr durch die untere Öffnung dem Kasten wieder zugeführt werden. Zur Verhütung allzu starker Abkühlung der zirkulierenden Heißluft war das Verbindungsrohr gut isoliert und durch einen, mittels kleinen Kessels heizbaren, Dampfheizkörper hindurchgeführt.

Die am Einstrom maximal erreichbare Luftgeschwindigkeit betrug 10 m pro Sekunde. Verteilte man die einströmende Luft mittels eines 10 cm über dem Boden aufgelegten Siebbleches auf den ganzen Kastenquerschnitt, so berechnete sich die durchschnittliche Geschwindigkeit im Innenraum auf 10 bis 20 cm. Nahm man das Verteilungsblech fort, so ergab sich axial zwischen Ein- und Ausstrom eine Durchschnittsgeschwindigkeit von über 1 m pro Sekunde. In den Ecken war mit und ohne Verteilungsblech die Geschwindigkeit gleich Null.

In den Kasten wurde ein gefütterter Tuchrock eingehängt, darüber ein dicker Mantel und ein Paar Tuchbeinkleider. In die innerste Rock-, bzw. äußere Manteltasche wurde ein Maximalthermometer und ein Thermoelement eingelegt.

Die Kastentemperatur wurde zunächst, nach Rautmanns Vorgang, auf der erheblichen Höhe von 120 bis 130°, später auf 100° gehalten.

Die Ergebnisse sind in Tab. IVa zusammengestellt. Für ruhende Luft weisen sie eine gewisse Regellosigkeit auf, die uns zeigt, daß die Eindringungsdauer vielfach von zufälligen Faktoren, insbesondere Faltenbildungen in den Objekten, abhängt. So erhielt ich im nicht zugeknöpften Rock eine Eindringungszeit von 65 Minuten, in dem darüber, also doch günstiger gelegenen Mantel 75 Minuten und in dem zugeknöpften Rock *ceteris paribus* die unverhältnismäßig starke Verzögerung bis auf 2¼ Stunde.

Schwache Luftbewegung hatte, wie vorauszusehen, kaum einen Effekt. Dagegen ergaben die Versuche mit dem stärkeren Strome Beschleunigungen bis auf weniger als die halbe Zeit und schienen für den praktischen Wert der Luftbewegung zu sprechen.

Allein diese günstige Beurteilung erfuhr eine erhebliche Abschwächung, als ich versuchte, der ruhenden Heißluft durch geeignete Aufhängung der Objekte den Eintritt in deren innere Partien zu erleichtern. Dies geschah in der Weise, daß ich in die Ärmel und Beinkleider je zwei kreisförmige federnde Stahlschienen steckte; Röcke und Mäntel über Bügel hängte, welche die Brust- und Rückenfläche voneinander abhielten; die Taschen nach außen kehrte, die Kragen hochschlug u. ä. m. Alsdann stieg die Temperatur in den inneren Kleiderteilen genau so schnell an wie die Kastentemperatur: Die Eindringungszeit wurde gleich Null. Wir können somit, selbst unter Berücksichtigung besonders ungünstiger Stellen, die Eindringungszeit der ruhenden Heißluft in richtig chargierte Röcke, Mäntel und Beinkleider auf 30 bis 60 Minuten bemessen. Mehr aber leistet bei diesen Objekten auch die bewegte Luft nicht.

Daß die Art der Chargierung auch bei manchen anderen Gegenständen eine Rolle spielen wird, ist selbstverständlich. So ergaben geschlossene Tornister 45 bis 50 Minuten Eindringungszeit, offene 35, in Wind von 1 m Geschwindigkeit sogar nur 10 Minuten.

Nur bei den Stiefeln ist durch die Art der Aufhängung keine günstigere Wirkung bis in die Spitzen hinein zu erzielen. Dies haben unsere früheren Versuche in dem kleinen Apparat so sicher ergeben, daß wir ihre Wiederholung in dem großen Kasten nicht für erforderlich hielten.

Noch viel ungünstigere Ergebnisse hatten endlich Versuche mit einem zusammengeschnürten Federkissen, das ich, im Hinblick auf Rautmanns Empfehlung der trockenen bewegten Heißluft für die allgemeine Desinfektionspraxis, schließlich noch geprüft habe: In seinem Inneren waren in ruhender Luft von 120 bis 130° nach 3¾ Stunden erst 62° und auch in bewegter nach 3 Stunden nur 55° erreicht.

Im Anschluß an diese Beobachtungen habe ich ferner auch versucht, die umständliche Luftzirkulation mittels des Zentrifugalventilators durch einen einfachen, in den Innenraum des Apparats eingestellten Flügelzirkulator zu ersetzen. Wie die Tabelle zeigt, hatte dieser Versuch ein negatives Ergebnis.

Versuche mit dem Vondranschen Apparat.

Um ein endgültiges Urteil über das von Rautmann empfohlene Verfahren zu gewinnen, habe ich schließlich noch Versuche in einem von Herrn Ingenieur Vondran-Halle freundlichst zur Verfügung gestellten „Sanierungsapparat“ angestellt. Derselbe bestand aus dem 100×47 cm großen, eisernen Kasten *A* (Fig. 4), dem Mantelofen *B*, von dem

Fig. 4.

die warme Luft mittels des elektrisch betriebenen Ventilators *C* in den Desinfektionsraum *A* getrieben wurde. Das Rohr *D* mit den Drosselklappen *a* und *b* diente zur Temperaturregulierung durch Ein- und Ausschaltung des Ofens. Die Versuche wurden bei 80 und 100° C angestellt. Die in den Desinfektionsraum getriebene Heißluft wurde durch oben und unten eingesetzte Siebplatten annähernd gleichmäßig über den ganzen Querschnitt verteilt, hatte maximal eine Geschwindigkeit von etwa 1.6 m pro Sekunde, erlitt aber bei den verschiedenen Stellungen der Drosselklappen nicht unwesentliche Verlangsamung. Um auch bei geringer Schrankfüllung das Ausweichen der Luft neben den Objekten zu verhüten, hat Herr Vondran neuerdings einen Leinwandsack konstruiert, der sich mittels Rahmen oben und unten in den Kasten einfügen und durch Zugsehnüre dicht um die Desinfektionsobjekte herumlegen läßt.

In den Schrank wurden je zwei Militärröcke und -hosen, die über Bügel gehängt waren, sowie ein Infanterie-Schaftstiefel und -Schnürschuh, ein Tornister, Brotbeutel und Helm eingebracht, so daß der Innenraum fast ganz ausgefüllt war. In sämtliche Objekte wurden, besonders an schwer zugänglichen Stellen (Taschen), Maximalthermometer eingesteckt. Ferner brachte ich in die Naht einer Rocktasche, in eine offene und eine zugenähte Hosentasche und in eine Stiefelspitze je ein Thermoelement.

Die Ergebnisse (vgl. Tab. V) sind je nach den Objekten verschieden:

Tabelle V.
Versuche im Vondranschen Apparat.

Versuchsobjekte	I. Schrantemperatur 100°, ohne Leinwandhülle	II. Schrantemperatur 80°, ohne Leinwandhülle	III. Schrantemperatur 80°, mit Leinwandhülle
Rocktasche (Naht)	45 Min.	—	—
Hosentasche, zugenäht	10 „	0 Min.	—
„ , nicht zugenäht	—	—	30 Min.
Stiefelspitze	2 Stdn. 10 Min.	2 Stdn. 10 Min.	2 Stdn.
Fußlappen (gerollt)	—	2 Stdn.	2 „
Tornister	30 Min.	—	—

In Kleidungsstücken kann, offenbar je nach dem zufälligen Vorhandensein größerer Gänge durch Faltenbildung, zwar an einzelnen Stellen eine Beschleunigung des Wärmeeintritts gegenüber ruhender Luft erfolgen, an anderen aber ganz ausbleiben. So betrug z. B. in Versuch I und II die Eindringungszeit in die zugenähte Hosentasche nur wenige Minuten, dagegen in einer nicht zugenähten Hosentasche bei Versuch III, in welchem die sonst ganz ebenso angeordneten Sachen sogar durch den oben beschriebenen Sack noch zusammengehalten waren, 30 Minuten. Schwer zugängliche Stellen aber sind es gerade, auf die bei der Entlausung alles ankommt. Wie bekannt, suchen die Läuse zur Eiablage mit Vorliebe die spaltförmig engen Räume an und in Nähten, an den Hosenträgern z. B. die Innenfläche der Lederröllchen, u. ä. m. auf. Für die Durchhitzung solcher Stellen bietet die bewegte Luft gegenüber der unbewegten keine größere Sicherheit. Um sicher zu gehen, würden auch in ihr für hängende Kleidungsstücke (Röcke, Mäntel, Hosen) in der Praxis mindestens $\frac{3}{4}$ bis 1 Stunde Eindringungszeit zu fordern sein. Diese Zeit genügt aber für die genannten Objekte bei geeigneter Chargierung auch in ruhender Luft.

In (geschlossenen, leeren) Tornistern bot der Vondranapparat gleichfalls kaum einen Vorteil: Die Eindringungsdauer betrug in ihm 30, in ruhender Luft 35 bis 40 Minuten.

Gar keine Verkürzung der Eindringungszeit aber erreichten wir auch im Sanierungsapparat in den Stiefelspitzen. Wie bei allen früheren Versuchen betrug die Eindringungszeit hier mindestens 2 Stunden, und zwar bei jeder Art der Aufhängung. Erst durch komplizierte, daraufhin von Herrn Vondran konstruierte Aufsteckrohre mit oberer Öffnung, durch welche die Heißluft bis in die Spitzen hineingetrieben werden konnte, ließ sich eine Beschleunigung bis zu wenigen Minuten erzielen. Ob sich indes derartige Vorrichtungen für den Großbetrieb eignen, scheint sehr zweifelhaft. Ohne sie muß aber in der Praxis die Eindringungszeit auf mindestens $2\frac{1}{2}$ bis 3 Stunden angesetzt werden.

Ebenso große Schwierigkeiten wie das Schuhwerk bot noch ein anderes Objekt der militärischen Ausrüstung, das namentlich auch in Kriegsgefangenenlagern eine große Rolle spielt: zu einem dichten Bündel zusammengeschnürte Fußlappen. Hier dauerte die Eindringungszeit gleichfalls stets mindestens 2 Stunden und ließ sich durch Verwendung der von Vondran empfohlenen Leinwandhülle nicht herabsetzen. Vergleichsversuche mit strömendem Wasserdampf ergaben eine momentane Durchdringung auch dieses Objekts.

Auf Grund dieser Versuche müssen wir unser Urteil über den Vondranapparat dahin zusammenfassen, daß in ihm nur an günstig gelegenen Stellen eine Verkürzung der Eindringungszeit eintritt, an anderen ausbleibt. Zur sicheren Erzielung der gewünschten Temperatur an allen Stellen ist daher bei seiner Verwendung die Eindringungszeit ebenso lang zu normieren, wie bei den Verfahren mit ruhender Heißluft, d. h. 3 Stunden. Die einzigen Vorteile des Vondranapparats kann man darin erblicken, daß er 1. die Austrocknung feuchter Objekte beschleunigt und damit ihrer Schädigung beim Anstieg der Hitze auf eine kritische Höhe vorbeugt, und 2. die warme Luft gleichmäßiger nicht etwa in den Objekten, wohl aber im Desinfektionsraum verteilt, so daß die Temperaturunterschiede zwischen dem oberen und unteren Teil ausgeglichen werden. Beides können wir aber auch in gewöhnlichen Heißluftkammern dadurch erzielen, daß wir in ihnen Zirkulatoren aufstellen und, zunächst mit einem offenen Abzugsrohr, andauernd laufen lassen. So ausgestattete Kammern stellen aber ein ungleich einfacheres und billigeres Mittel zur Massenentlausung dar. Kostet doch ein Vondranapparat für die Sachen von nur 50 Mann 11000 M., eine Heißluftkammer von gleicher Leistungsfähigkeit kaum den 4. bis 5. Teil. Dabei muß noch berücksichtigt werden, daß diese teuren

Apparate ausschließlich der Läusebekämpfung dienen können, somit ihre Rolle mit Beendigung des Krieges so gut wie ausgespielt haben. Denn ihre Verwendung für die allgemeine Desinfektion scheint uns, im Gegensatz zu Rautmann, ausgeschlossen. Wollte man den Apparat auch zur Abtötung von pathogenen Bakterien benutzen, so müßte man, wie unsere Versuche ergeben haben, die Desinfektionsdauer noch um etwa 2 Stunden verlängern. Damit aber kommen wir zu Betriebszeiten, wie sie in der allgemeinen Desinfektionspraxis undurchführbar und höchstens für besondere Objekte im Interesse ihrer Schonung zugänglich sind. Es ist nicht anzunehmen, daß in den größeren, im Gebrauch befindlichen Vondranapparaten mit vielleicht schnellerer Luftbewegung die Verhältnisse prinzipiell anders und günstiger liegen werden als in meinem Versuchsmodell.

Überblicken wir noch einmal die Ergebnisse der vorstehenden Untersuchungen, so lassen sie sich in folgende Schlußsätze zusammenfassen:

1. Ruhende trockene Heißluft von 110° tötet bei einer Einwirkungs-dauer von 1 Stunde alle in der Desinfektionspraxis in Betracht kommenden Krankheitskeime ab. Zur Abtötung von Staphylokokken sind 2 Stunden erforderlich, zur Abtötung von Milzbrandsporen die gleiche Zeit bei 120°. Eine Steigerung der Temperatur über 110° behufs Abkürzung der Abtötungszeit ist wegen der Gefahr der Schädigung der Objekte praktisch ausgeschlossen.

2. Bewegte trockene Heißluft führt bei freiliegenden Bakterien keine Verkürzung der Abtötungsdauer herbei.

3. Ruhende Heißluft erhitzt die Objekte erheblich langsamer als Dampf von gleicher Temperatur, grobporige Objekte etwas schneller als feinporige.

4. Bewegte Heißluft von 1·3 bis 1·8 m pro Sekunde verkürzt die Eindringungszeit nur bei grobporigen Objekten. Kommt dies ausnahmsweise auch bei feinporigen Objekten zur Beobachtung, so liegt stets der Verdacht vor, daß die Beschleunigung durch gröbere Gänge bedingt ist. Solche gelegentliche Ergebnisse sind daher kein Beweis für die Überlegenheit der bewegten Heißluft über der ruhenden und können gegenteilige Befunde nicht entkräften.

5. Kleiderstoffe werden in trockener Heißluft sehr langsam durchhitzt. Luftbewegung hat bei ihnen keinen beschleunigenden Einfluß.

6. In ruhender Heißluft beträgt die Eindringungszeit an leicht zugänglichen Bekleidungsstücken und Ausrüstungsgegenständen höchstens $\frac{3}{4}$,

in Stiefeln $2\frac{1}{2}$ Stunden. Als gesamte Betriebsdauer sind daher in praxi etwa 4 Stunden anzusetzen.

7. Bewegte Heißluft bietet für die Erhitzung schwer zugänglicher Stellen keine größere Sicherheit wie ruhende; ihre Eindringungszeit muß daher ebenso lang wie bei letzterer angesetzt werden. Für alle nicht dampfempfindlichen Objekte ist an der Desinfektion mit strömendem Wasserdampf unbedingt festzuhalten.

8. Der Vondranapparat beansprucht, selbst bei günstiger Chargierung, zur vollen Sicherung seiner Wirkung dieselbe Eindringungszeit wie die Apparate mit ruhender Heißluft und bietet kaum nennenswerte Vorteile. Diesen stehen die überaus hohen Anschaffungskosten und seine ausschließliche Verwendbarkeit zur Entlausung, nicht aber zur Desinfektion, gegenüber. Zur Massententlausung stellen geeignet gebaute und mit Zirkulatoren ausgestattete Heißluftkammern ein ungleich billigeres und einfacheres Verfahren dar.