[Aus dem hygienischen Institut der Universität Breslau.]

Untersuchungen über die Infektion mit Tuberkelbazillen durch Inhalation von trockenem Sputumstaub.

Von

Oberarzt Dr. Köhlisch,
kommandiert zum Institut.

In einer Reihe von Arbeiten des Breslauer hygienischen Universitäts-Instituts sind in den letzten Jahren die wichtigsten Fragen über die Verbreitungsweise und den Infektionsmodus der Lungenphthise beantwortet worden.

Mit dem Unterschied zwischen Inhalations- und Fütterungstuberkulose beschäftigt sich die Arbeit von Findel und weist die eminente Überlegenheit der ersteren nach. Findel stellt auch die Minimaldosis fest, durch die noch eine sichere Infektion hervorgerufen wird, wenn eine tuberkelbazillenhaltige Flüssigkeit versprayed und vom Versuchstier inhaliert wird.

Auch über die Bildung solcher tuberkelbazillenhaltiger Tröpfchen durch Hustenstöße des Phthisikers und die Möglichkeit einer Infektion auf diesem Wege unter natürlichen Verhältnissen haben die Versuche von Laschtschenko, Heymann und Ziesché uns eine genügende Orientierung gegeben.

Dagegen fehlt uns noch eine genauere, auch auf die quantitativen Beziehungen sich erstreckende Kenntnis der Wirksamkeit trockenen Sputumstaubes.

Bekanntlich sind zahlreichen Autoren (Pernice, de Toma, Cadéac und Malet u. a.) Inhalationsversuche mit staubförmigem phthisischem Sputum ganz oder teilweise mißglückt.

Aufklärung über den Grund dieser Mißerfolge geben zum Teil die Versuche von M. Neisser und von Sticher. Ersterer stellte fest, daß Tuberkelbazillen zwar verstäubbar sind, aber doch nicht zu den mit schwächsten Luftströmen lebend transportierbaren Keimen gehören. Sticher ermittelte, daß bei den Inhalationsversuchen das Staubmaterial vollkommen trocken sein und auch nicht etwa durch die Atemluft des Tieres wieder feucht werden darf; daß ferner starke Luftströme angewendet werden müssen, die eine größere Menge Stäubchen von verschiedenem Kaliber, nicht nur die feinsten, zu transportieren und dauernd schwebend zu erhalten vermögen. Unter Einhaltung dieser Bedingungen gelang Sticher die Infektion von Tieren. Aber in der Praxis sind solche Bedingungen sicher nur selten erfüllt. Wurde die künstliche Trocknung des Sputums unterlassen oder wurden nicht sehr starke Luftströme angewendet, so blieb der Erfolg aus. Auch wenn Sticher vom Tierversuch ganz absah und nur einen Luftstrom mit einer Geschwindigkeit von mindestens 10 cm pro Sekunde durch feinen tuberkelbazillenhaltigen Staub streichen ließ, dessen gesamter Gehalt an Tuberkelbazillen in einer Vorlage mit etwas Wasser abgefangen wurde, erhielt er erheblichere positive Ausbeute nur dann, wenn das Sputum im Exsikkator künstlich getrocknet war. Ähnliche Resultate erhielt Beninde bei Versuchen mit bespuckten und dann getrockneten und geriebenen Taschentüchern. Offenbar läßt sich also das mucinhaltige Sputum nach dem Antrocknen sehr schwer in so feine Splitter zerlegen, daß leichtester Staub daraus entsteht. Die gröberen Stäubchen aber sind nicht schwebefähig; sie werden nur durch mechanische Einwirkung bei Hantierungen oder durch starke, Zugempfindung veranlassende Ströme vorübergehend in die Luft übergeführt, setzen sich aber sehr bald wieder ab. Heymann stellte in einer besonderen Versuchsreihe fest, daß die von bespuckten Teppichen und Dielen nach dem Trocknen durch Klopfen und Fegen abgelösten Stäubchen schon nach kürzester Frist wieder völlig absinken und im allgemeinen 10 Minuten nach Beendigung des Klopfens oder Fegens auch durch Auffangen in Schälchen mit Bouillon und Überimpfung dieser Flüssigkeit auf Meerschweinchen nicht mehr nachweisbar sind. Nur bei feinen Taschentuchfasern wurde mit dieser empfindlichsten Nachweismethode einmal 30 Minuten nach der gewaltsamen Ablösung der Fasern ein positiver Ausschlag erzielt.

Nun hat allerdings Cornet¹ durch umfangreiche Untersuchungen von Staub aus Phthisikerwohnungen darzulegen versucht, daß die Einatmung trockenen Sputumstaubes die Hauptgefahr für die Verbreitung

¹ *Diese Zeitschrift.* Bd. V.

der Tuberkulose bilde. Aber Heymann konnte zeigen, daß die Cornetschen Erhebungen für eine richtige Einschätzung der Staubinhalation durchaus ungeeignet sind. Cornet hat durch das feuchte Abwischen der Bettleisten, Bettwände usw., die durch Kontakte ebenso wohl wie durch Staub infiziert werden konnten, sicher auch Sputumteile in sein Versuchsmaterial bekommen, die gar nicht als feiner flugfähiger, atembare Luftstaub existiert haben. Sammelte Heymann den Staub aus Phthisikerwohnungen und Krankensälen mit trockenen Pinseln und nur von höher gelegenen Flächen, die nicht durch Kontakte, sondern lediglich durch Staub infiziert werden konnten, so erhielt er bei der Verimpfung auf Meerschweinchen viel geringere Ausbeute als Cornet. — Ferner hat Gotschlich nachgewiesen, daß der Staub aus den oberen Teilen von Räumen mit starkem Menschenverkehr flugfähige Partikel mit lebenden Tuberkelbazillen im allgemeinen nicht enthält; seine Verimpfungen auf Meerschweinchen ergaben kein einziges positives Resultat.

Zu beachten ist ferner, daß bei den Untersuchungen von Cornet, Heymann und Gotschlich mit Wohnungsstaub und ebenso in den meisten Versuchen Stichers, Benindes und Heymanns mit künstlicher Verstäubung und Auffangen der Staubteilchen in Vorlagen das entscheidende Experiment stets die subkutane oder intraperitoneale Infizierung des Meerschweinchens war. Darin liegt aber eine außerordentliche Begünstigung der positiven Resultate und ein völliger Verzicht auf quantitative Feststellung der natürlichen Infektionsgefahr; denn die Meerschweinchenimpfung gibt schon mit den allergeringsten Mengen von Tuberkelbazillen sicheren positiven Ausschlag, während für eine Infektion durch Inhalation zweifellos eine viel erheblichere Zahl flugfähiger Elemente erforderlich ist.

Der Forderung, daß die Probe eigentlich mit dem zugehörigen Infektionswege, also mit Inhalation des Staubes, angestellt werden muß — eine Forderung, deren Erfüllung man eigentlich bei allen solchen Untersuchungen verlangen müßte — hat Cornet durch seinen bekannten Teppichversuch zu entsprechen versucht. Auf dieses Experiment komme ich indes unten noch genauer zurück. Die Verhältnisse waren dabei so übertrieben, daß daraus Folgerungen für die natürliche Infektion durch inhalierten Staub und insbesondere quantitative Abschätzungen der zur Infektion erforderlichen Dosis ebenfalls nicht abgeleitet werden können.

So zeigen unsere bisherigen Kenntnisse gerade in bezug auf die Staubinfektion noch besonders große Lücken. Festgestellt ist eigentlich nur, daß das phthisische Sputum schwer so weit austrocknet, daß es zu Staub zerkleinert werden kann, und daß noch schwerer feine tuberkelbazillenführende Elemente in reichlicher Zahl dabei entstehen, die durch

die alltäglich in den Wohnungen vorkommenden Luftströme transportiert und schwebend erhalten werden können.

Noch nicht festgestellt ist dagegen das weitere Verhalten des in der Luft schwebenden tuberkelbazillenhaltigen Staubes nach der Einatmung. Hier muß vor allem ermittelt werden, wieviel von den Stäubchen in dem Eingang zum Respirationstraktus und in den gröberen Bronchien zurückgehalten werden und welcher Bruchteil wirklich bis in die feineren Bronchien und in die Alveolen gelangt. Ferner ist festzustellen, welche quantitative Bedeutung dem letzteren Anteil der Stäubchen für die Infektion zukommt und ob namentlich eine kleinere oder erst eine größere Anzahl Tuberkelbazillen in Stäubchenform erforderlich ist, um die Entwicklung einer Lungentuberkulose zu veranlassen. Erst wenn derartige quantitative Bestimmungen vorliegen, können wir die Verhältnisse genauer übersehen, die eine Infektion durch inhalierten Staub ermöglichen und können die Gefahr dieses Infektionsmodus richtig einschätzen. Erst dann läßt sich auch zwischen der Tröpfchen- und der Staubinhalation eine Vergleichung anstellen, wie sie zwar schon von Nenninger (a. a. O.) und von Heymann vorläufig versucht ist, aber doch wegen des Fehlens jener quantitativen Unterlagen nicht definitiv durchgeführt werden konnte.

Die Ermittlung einmal des Prozentsatzes eines eingeatmeten Staubquantums, welcher wirklich bis in die feinsten Lungenverzweigungen vordringt, und zweitens der Zahl von Tuberkelbazillen, welche, auf diese Weise in die Lunge gelangt, als sicher wirksame Dosis fungieren, sollte demgemäß meine nächste Aufgabe bilden.

Außerdem wollte ich dann noch die früheren in enger Anlehnung an die Praxis ausgeführten Staubuntersuchungen von Cornet und Heymann dadurch ergänzen, daß ich Staub aus Wohnungen von Phthisikern Meerschweinchen inhalieren und auf diese Weise den der Infektionsquelle zugehörigen Infektionsweg in Wirksamkeit treten ließ.

I. Teil.

Anfänglich habe ich vielfach vergeblich versucht, eine Methode zu finden, die es ermöglichte, die Menge Tuberkelbazillen zu erfahren, die das Meerschweinchen — unser übliches Versuchstier bei Tuberkuloseexperimenten — während eines Versuches tatsächlich in die Lungen eingeatmet hat. Schließlich ging ich ähnlich vor wie Findel bei seinen Versuchen am Inhalationsturm. Mein Ziel war dabei, den Bruchteil der in die Lunge gelangten Bakterien zu ermitteln durch die Zahl der Keime, welche beim gleichzeitigen Absaugen eines bestimmten Quantums Staublufte durch ein Filter in diesem zurückgehalten und nachgewiesen wurden.

Allerdings ist es nicht möglich, bei Versuchen mit Tuberkelbazillen selbst eine Zählung der Keime auszuführen, weil wir sie nicht auf Platten züchten und durch die Kolonienzahl die Keimzahl feststellen können. Aber ich versuchte mir damit zu helfen, daß ich den Staub mit einer anderen leicht züchtbaren und durch die auf Platten gewachsenen Kolonien leicht zählbaren Bakterienart — am besten Sporen — imprägnierte.

Von einem solchen, durch bestimmte Sporen markierten Staub wirbelte ich eine gewisse Menge in einem geschlossenen Kasten auf und ließ in diesem ein Meerschweinchen eine bestimmte Zeit lang einatmen. Die Menge Luft, die in dieser Zeit vom Meerschweinchen eingeatmet wurde, war aus früheren Versuchen (Findel) bekannt. Gleichzeitig saugte ich dasselbe Quantum Staubluft durch Wattefilter. Dann bestimmte ich durch Plattenaussaat und Kolonienzählung einmal die in das Filter übergegangenen Keime, und zweitens die in der Lunge des sofort getöteten Tieres befindlichen Sporen. Es ergab sich unter gewissen Bedingungen ziemlich konstantes Verhältnis $\frac{F}{L}$.

Kannte ich nun dieses Verhältnis, so brauchte ich nur den Staub einerseits mit Tuberkelbazillen, andererseits mit Sporen im Verhältnis $b:a$ zu imprägnieren; fand ich dann im Filter m Sporen wieder, so mußten in dasselbe $\frac{b}{a} \cdot m$ Tuberkelbazillen gekommen sein; in die Lunge also $\frac{b}{a} \cdot \frac{L}{F} \cdot m$ Tuberkelbazillen.

Besondere Schwierigkeiten bereitete auch noch die anhaltende Verstäubung des Materials. Die erste von mir benutzte Versuchsanordnung war folgende (s. Fig. 1):

A war ein Blechzylinder von 20 cm Höhe und Durchmesser, auf dem oben und unten Glastrichter aufsaßen. In einer Büchse B , die vorn nur durch ein Drahtgitter verschlossen war, saß das Meerschweinchen. Sie wurde durch Bajonettverschluß fest in den Blechzylinder eingedreht. Der Staub wurde aus dem U-Rohr C mit dem Gebläse D in den Apparat hineingetrieben. Durch das bewegliche Rohr E konnte man von allen Flächen und Winkeln durch Blasen den abgesetzten Staub wieder aufwirbeln.

Der Schlauch F verband den Apparat mit einem 70 Liter fassenden Turm, aus welchem Wasser mit entsprechender Geschwindigkeit — 3 Liter in 10 Minuten — abgelassen wurde, um die staubhaltige Luft aus dem Apparat A durch die sterilen Wattefilter G (von denen das zweite nur als Kontrollfilter diente und stets nur wenige oder gar keine Keime enthielt) zu saugen.

Der Anfang des Absaugrohrs befand sich dicht neben der Nase des Versuchstieres.

H ist ein weiter Zylinder, in dem sich lose ein Wattebausch befand, der beim Entweichen der Luft den bazillenhaltigen Staub abfangen sollte.

Im übrigen waren alle Öffnungen des Apparates luftdicht abgeschlossen.

Zu den Versuchen in diesem Apparat verwandte ich Staub aus einer hiesigen Baumwollspinnerei, der im wesentlichen aus sehr fein zerriebenen Teilchen der Samenkapseln, daneben aus Baumwollfasern und einer Menge anderer nicht genauer zu definierender feiner Elemente bestand. Er wurde mit den Sporen eines im Institut gelegentlich gezüchteten, charakteristisch wachsenden saprophytischen *Bacillus* imprägniert, so daß in 1^{grm} Staub 120 Millionen Sporen enthalten waren.

Fig. 1. Verstäubungsapparat der ersten Versuchsreihen.

A Verstäubungsapparat mit den beiden Trichtern. *B* Käfig für das Versuchstier. *C* U-förmiges Ansatzrohr mit Gebläse *D* zum Einblasen des Staubes. *E* Blaserohr zum Aufwirbeln des eingeblasenen und sich wieder absetzenden Staubes. *G* Filter. *F* Schlauch zum Wasserturm. *H* Abfangzylinder mit Wattebausch.

Jeder Versuch dauerte 10 Minuten, und während der ganzen Zeit suchte ich mittels der beiden Gebläse eine dichte Staubwolke im Apparat zu unterhalten.

Unmittelbar nach Beendigung des Versuches wurde das Tier getötet, die Lunge — wie bei Findel beschrieben — steril herausgenommen, gewogen, zerhackt, im Mörser ein bestimmter Bruchteil zerrieben, in Bouillon aufgeschwemmt und auf Gelatineplatten ausgesät. Die Prozedur dauerte höchstens $\frac{1}{2}$ Stunde.

Ebenso wurden die Filter in einer bestimmten Menge Bouillon gründlich ausgewaschen und von dieser ein Bruchteil in Gelatine gesät, schließlich die Watte selbst in Gelatine verpumpt.

Wenn die Platten genügend ausgewachsen waren (gewöhnlich nach 48 Stunden), wurden sie gezählt, und das Verhältnis $L:F$ zwischen den in die Lungen und den in die Filter gekommenen Keimen bestimmt.

Tabelle I.

Versuche am Gebläseapparat zur Bestimmung des Quotienten $\frac{L}{F}$ mit Staub aus Baumwollspinnerei. Jeder Versuch dauerte 10 Minuten.

Lfd. Nr. der Versuche	Gewicht des Tieres	Gewicht der Lunge	Summe der in den Filtern wiedergefun- denen Keime	In Lunge wieder- gefunden	Von den im Liter Luft enthaltenen Keimen kamen also in die Lungen
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1	??	??	30 000	3 600	10 Prozent
2	680 ^{gramm}	5.64 ^{gramm}	335 000	12 800	4 „
3	660 „	4.08 „	339 000	20 000	6 „
4	295 „	2.85 „	371 000	31 000	8 „
5	580 „	3.80 „	342 000	13 000	4 „
6	345 „	2.12 „	300 000	15 000	5 „

Die Resultate dieser Versuche zeigt Tabelle I. Das Verhältnis schwankt im großen und ganzen (unter Fortlassung zweier offenbar nicht benutzbarer Versuche mit ganz abweichenden Werten) ziemlich erheblich, zwischen 4 Prozent und 10 Prozent. Als Mittelzahl, die aber nur mit großer Vorsicht zu verwerten sein wird, ergibt sich 7 Prozent = $\frac{1}{14}$. Eine Abhängigkeit der Schwankungen von der Größe des Tieres tritt nicht deutlich hervor.

Bemerkenswert ist, daß der Anteil der in die Lunge gelangten Keime entschieden kleiner ist als bei den entsprechenden Versuchen mit versprayten Tröpfchen. Von den in Tröpfchenform eingeatmeten Keimen gelangen nach Findel im Mittel 33 Prozent in die Lungen.

Beiläufig sei erwähnt, daß auf den Lungenplatten, namentlich im Anfang der Versuchsreihe, nicht selten zahlreiche fremde Bakterien wuchsen; z. B. ein weißer Staphylococcus, namentlich aber ein sehr kleiner beweglicher Bacillus, der in allen Eigenschaften mit einem von Selter beschriebenen „Bacillus cavisepticus mobilis“ übereinstimmte.¹ Im März

¹ Diese Zeitschrift. Bd. LIV.

hatte dieser Bacillus eine vollständige „Epidemie“ unter unseren Meerschweinchen verursacht. Übrigens war das Wachstum des Sporenbildners so charakteristisch, daß seine Kolonien von wenigen dieser Verunreinigungen auch makroskopisch sicher unterschieden werden konnten. Nur wenn massenhafte Verunreinigungen vorlagen, gelang die Zählung nicht sicher, und dann mußten die Versuche ganz ausgeschaltet werden.

Mit der bisher beschriebenen Versuchsanordnung machte ich auch die ersten Experimente mit Zusatz von Tuberkelbazillen zum Staub, und zwar in zwei Reihen. Bei der einen wurde der beschriebene Staub imprägniert mit Tuberkelbazillen, die seit etwa 14 Tagen auf Beckschem Agar gezüchtet waren. 10^{mg} der Tuberkelbazillen wurden im Achatmörser zerrieben, in 10^{ccm} Wasser aufgeschwemmt und davon 2½^{ccm} zu 8^{grm} Staub, der in 1^{grm} 90 Mill. Sporen enthielt, zugesetzt. Das feuchte Gemenge wurde über Nacht im Exsikkator getrocknet.

Da 1^{mg} Tuberkelbazillen etwa 40 Millionen Keime enthält, so wurden mit den 2½^{ccm} etwa 90 Millionen Tuberkelbazillen den 8^{grm} Staub zugesetzt. 1^{grm} Staub enthielt demnach 90 Millionen Sporen und 11 Millionen Tuberkelbazillen; oder

$$a : b = 90 : 11.$$

Mit diesem Staub führte ich 15 Versuche aus, deren Ergebnisse in Tabelle II zusammengestellt sind.

Die Tiere wurden stets vier Wochen nach dem Versuch getötet. Diese Frist hatte sich schon bei anderen Versuchsreihen als die geeignetste erwiesen. Die Tuberkel in den Lungen sind zu dieser Zeit schon sehr deutlich erkennbar, oft bereits verkäst, die Bronchialdrüsen — und zwar stets die der erkrankten Lungenseite — sehr stark geschwollen und fast immer ebenfalls verkäst. Wartete man länger, so war gewöhnlich schon eine Miliartuberkulose dazu getreten, die das Bild trüben konnte. Gelegentlich wurden mikroskopisch in Ausstrichpräparaten von Tuberkeln und Drüsen Tuberkelbazillen nachgewiesen.

Aus den Zahlen der Tabelle II läßt sich entnehmen, daß unter Umständen schon etwa 50 Bazillen von Kultur genügen, um mit trockenem Staub inhaliert beim Meerschweinchen Lungentuberkulose hervorzurufen. Allerdings ist dies nicht die kleinste sicher wirksame Dosis; denn in Versuch 3, 4 und 6 sind 70, 100 und 270 Bazillen unwirksam. Sicherer Effekt tritt erst ein von 300 bis 400 Bazillen an. Selbstverständlich kann die Berechnung nur eine ganz annähernde sein. In Tabelle II sind nämlich die Schwankungen des Quotienten $\frac{L}{F}$ nicht berücksichtigt, sondern nur der aus sechs Versuchen der Tabelle I abgeleitete Mittelwert von 7 Prozent. Tatsächlich werden aber auch bei den Versuchen der

Tabelle II.

Versuche am Gebläseapparat. Dauer der Inhalation 10 Minuten. Staub aus Baumwollspinnerei mit Kultur-Tuberkulosebazillen imprägniert.

$$\frac{b}{a} = \frac{11}{90}; \quad \frac{L}{F} = \frac{1}{14}.$$

Lfd. Nr. der Versuche	Gewicht des Tieres	Zahl der Sporen in den Filtern (m)	Zahl der in die Lunge gelangten Tb.	Sektionsbefund
1.	2.	3.	4.	5.
1	400 ^{grm}	6 600	ca. 50	In beiden Lungen je 1 Tuberkel. Beide Bronchialdrüsen erbsengroß, verkäst.
2	365 „	7 000	ca. 55	In linker Lunge 1 Tuberkel. Tb. mikroskop. nachgewiesen.
3	370 „	9 000	ca. 70	Nichts Krankhaftes.
4	300 „	14 500	ca. 100	Nichts Krankhaftes.
5	440 „	15 000	ca. 110	In rechter Lunge 3 Tuberkel, 2 rechte Bronchialdrüsen bohnen- groß, die eine verkäst. Sonst nichts.
6	400 „	35 000	ca. 270	Nichts Krankhaftes.
7	400 „	50 000	ca. 400	In linker Lunge 1 Tuberkel. Linke Bronchialdrüse etwas mehr als erbsengroß, kein Käse.
8	380 „	87 000	ca. 680	In linker Lunge 4, in rechter 1 Tuberkel. Beide Bronchialdr. bohnen- groß. Käseherde.
9	380 „	90 000	ca. 700	In rechter Lunge 2 Tuberkel, in linker 1. Beide Bronchialdr. bohnen- groß, verkäst.
10	360 „	113 000	ca. 880	In beiden Lungen je 4 Tuberkel. Beide Bronchialdrüsen bohnen- gr., verkäst.
11	330 „	140 000	ca. 1 000	In linker Lunge 6, in rechter 3 Tuberkel. Beide Bronchialdr. erbsengroß. Keine Verkäsung.
12	320 „	160 000	ca. 1 250	In linker Lunge 1, in rechter 6 Tuberkel. Linke Bronchialdr. hanfkorn-, rechte bohnen- groß, verkäst.
13	430 „	385 000	ca. 3 000	In rechter Lunge 6, in linker 2 Tuberkel. Rechte Bronchialdr. bohnen-, linke erbsengroß. Beide verkäst.
14	360 „	555 000	ca. 4 000	Pneumokokkensepsis. Ganze Lunge pneumonisch infiltriert. Nichts von Tuberkelbazillen.
15	300 „	1 830 000	ca. 15 000	In rechter Lunge 2, in linker 4 Tuberkel. Bronchialdr. kaum vergrößert.

Tabelle II ähnliche Schwankungen wie in Tabelle I, also zwischen 4 und 10 Prozent, vorgekommen sein und das berechnete Resultat weicht dann vom wahren Wert ziemlich erheblich ab.

Immerhin ist, selbst wenn man den niedrigsten überhaupt vorgekommenen Quotienten der Tabelle I zur Rechnung heranzieht, die unsicher wirkende Minimaldosis von Tuberkelbazillen noch auf 30, die sicher wirksame auf 230 Bazillen zu bestimmen; und dies sind im Vergleich zu Findels und Reichenbachs Berechnung der Minimaldosis bei Tröpfcheninhalation relativ hohe Werte. Für letztere stellen 4 bis 5 Bazillen bereits die bei Meerschweinchen gelegentlich wirksame und höchstens 50 Bazillen die sicher wirksame Dosis dar.

Im übrigen war in meinen Versuchen eine, wenn auch nicht regelmäßige Zunahme der Zahl der Tuberkel und der Veränderung der Bronchialdrüsen mit der Zahl der eingeatmeten Tuberkelbazillen zu erkennen. Bis etwa 400 Tuberkelbazillen im Durchschnitt finden sich 0 bis 3, zwischen 400 und 700 1 bis 5, darüber 6 bis 9 Tuberkel in den Lungen. Allerdings hört diese Gesetzmäßigkeit, wie wir unten sehen werden, bei weiterer Steigerung der Dosen auf.

Die zweite, der vorigen parallel gehende Versuchsreihe von 15 Tieren, bei der ich den Staub statt mit Kultur mit Sputum, das im Kubikzentimeter 30 Millionen Tuberkelbazillen enthielt, imprägnierte, gab leider kein Resultat. Die Tiere erkrankten sämtlich nicht, auch nicht die intraperitoneal bzw. subkutan geimpften Kontrolltiere. Ich habe die Ursache dieses Ausfalles nicht aufklären können. Sicher hat es nicht etwa daran gelegen, daß bis zur Verwendung des imprägnierten Staubes zuviel Zeit verstrich. Der Staub wurde hier wie immer tunlichst binnen 24 Stunden nach seiner Fertigstellung, d. h. etwa 48 Stunden nach der Expektion des Sputums verwandt, und dabei soviel als möglich vom Lichte abgesperrt.

Die Feststellung der Bazillenzahl pro Kubikzentimeter geschah bei diesen und bei den folgenden Versuchen in der Weise, daß dasselbe Sputum zunächst durch Schütteln mit Sand homogenisiert wurde; nach Filtration wurde je 1 Tropfen davon aus einem Tropfapparat, der pro Kubikzentimeter eine bestimmte Anzahl Tropfen ergab, auf einem Deckglas von bekannter Größe ausgebreitet, und auf diesem wurden die gefärbten Bazillen mit Zählkular gezählt (vgl. die vorstehende Arbeit von Alexander).

Indessen hatte sich meine Versuchsanordnung entschieden noch nicht nach jeder Richtung hin bewährt. Infolge des Lufteinblasens hielt sich die entwickelte Staubwolke nicht lange genug im Apparat; sie wurde zu schnell, bei kleineren Mengen schon binnen $\frac{1}{2}$ Minute, von der entweichenden Luft in den Wattebausch des Zylinders *H* geführt. Versuche,

die ich darüber anstellte, indem ich nach einer bestimmten Zeit, z. B. nach 1 oder 2 Minuten, die Absaugefilter auswechselte, ergaben, daß in den letzten 8 bis 9 Minuten oft weniger als $\frac{1}{10}$ derjenigen Keimzahl in die Filter kam, die während der 1. Minute hineingelangte. Geringfügige Änderungen im Verhalten der Meerschweinchen, Schwankungen in der Atemfrequenz und im Atemtypus während der ersten sehr kurzen Zeit, wo die Luft stark mit Staub beladen war, mußten daher von erheblichem

Fig. 2. Verstäubungsapparat der folgenden Versuchsreihen.
A Verstäubungsapparat mit Trichter. *B* Kleiner Käfig für das Versuchstier.
C Elektromotor. *H* Dessen Achse mit Windrad *E*. *D D₁* Stative für den Motor.
J Akkumulatoren. *G* Filter. *F* Schlauch zum Wasserturm.

Einfluß auf die Zahl von Stäubchen und Bazillen sein, die in der Lunge vorgefunden wurde; und vielleicht erklärten sich aus der kurzen Dauer der eigentlichen Verstäubungsperiode auch die beträchtlichen Schwankungen im Faktor $\frac{L}{F}$, wie sie Tabelle I zum Ausdruck bringt.

Um diesen Fehler zu verringern, konstruierte ich daher nach den Angaben von Prof. Reichenbach, dem ich für seine Hilfe zu großem Danke verpflichtet bin, einen anderen Inhalationsapparat (s. Fig. 2).

A ist wieder der zylindrische Atemraum, der jedoch nur oben einen Trichter, unten dagegen einen horizontal abschließenden Boden hat und mit drei Füßen aus Eisenband fest auf dem Tisch aufgeschraubt ist. *C* ist ein Elektromotor, der mit dem Akkumulator *F* betrieben wird. Die sehr lange Achse des Motors geht mit ihrem freien Ende durch den Trichter bis dicht über den Boden des Kastens und trägt an diesem Ende ein Windrad *E*. Dieses dreht sich im Sinne des Uhrzeigers, und zwar so, daß der Staub angesaugt, d. h. also von unten nach oben gewirbelt wird. Der Motor wird von den Stativen *D* und *D*₁ gehalten. Der Schlauch *F* geht wieder zum Wasserturm, vermittle dessen die Luft aus dem Apparat durch die Filter *G* gesaugt wird.

Die Versuche, die ich mit diesem Apparat zur Bestimmung des Faktors $\frac{L}{F}$ angestellt habe, sind in Tabelle III aufgeführt.

Tabelle III.

Versuche am Windradapparat zur Bestimmung des Quotienten $\frac{L}{F}$
mit Staub aus Baumwollspinnerei.

Ide. Nr. der Versuche	Gewicht des Tieres	Gewicht der Lunge	Dauer des Versuchs	Summe der in den Filtern wiedergefun- denen Keime (<i>m</i>)	In Lunge wieder- gefunden	Von den im Liter Luft enthaltenen Keimen kom- men also in die Lungen
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	480 ^{grm}	3·117 ^{grm}	10 Minuten	280 000	28 700	10·0 Prozent
2	320 „	1·68 „	10 „	232 000	17 000	7·1 „
3	320 „	1·97 „	½ Stunde	600 000	28 800	4·7 „
4	580 „	4·012 „	½ „	1 363 000	45 000	3·2 „
5	300 „	1·5 „	½ „	946 000	10 000	1·05 „
6	400 „	3·56 „	1 „	904 000	24 000	2·67 „
7	250 „	1·94 „	1 „	1 143 000	16 800	1·5 „
8	390 „	1·5 „	1 „	5 556 000	46 000	0·83 „

Dies zeigt, daß der Faktor $\frac{L}{F}$ mit einem Gesamtdurchschnitt von 2·67·Prozent ($= \frac{1}{37}$) zwischen 0·83 Prozent und 10 Prozent schwankt, also in sehr weiten Grenzen. Die Grenzen werden jedoch enger, wenn gleichzeitig die Dauer der Versuche berücksichtigt wird. Bei einer Stunde Versuchsdauer schwanken die Werte zwischen 0·83 und 2·67 Prozent, also im Mittel 1·7 Prozent; bei 30 Minuten zwischen 1·5 und 4·7 Prozent, also im Mittel 3 Prozent; bei 10 Minuten Versuchsdauer zwischen 7·1 und 10 Prozent, im Mittel also 8·5 Prozent.

Der Grund mag zum Teil darin liegen, daß sich mit der Zeit die engen Eingangswege zum Respirationstraktus der Tiere etwas mit Staub verstopfen.

Tabelle IV.

Versuche am Windradapparat. Staub aus Baumwollspinnerei mit Sputum eines Phthisikers imprägniert.

$$\frac{b}{a} = \frac{1}{13}; \frac{L}{F} = \begin{cases} 10 \text{ Min.} = \frac{1}{12} \\ 30 \text{ „} = \frac{1}{33} \\ 60 \text{ „} = \frac{1}{60} \end{cases}$$

Lfd. Nr.	Gewicht des Tieres	Dauer des Versuchs	Zahl der Sporen in den Filtern (m)	Zahl der Tuberkelbazillen in den Lungen	Sektionsbefund
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1	270 ^{grm}	30 Min.	300 000	ca. 670	Rechter Unterlappen 1 Tuberkel, Rechter Oberlappen 1 Tuberkel, Linker Oberlappen 1 Tuberkel, Beide Bronchialdrüsen bohngroß, stark verkäst.
2	250 „	5 „	1 000 000	? vorzeitig abgebrochen, mindest. 7000	Linker Oberlappen 1 Tuberkel, Linke Bronchialdrüse bohngroß, stark verkäst.
3	560 „	1 Std.	6 400 000	ca. 8200	Rechter Unterlappen 1 Tuberkel, Linker Unterlappen 1 Tuberkel, Linke Bronchialdrüse bohngroß, verkäst. Rechte Bronchialdrüse etwas mehr als erbsengroß.
4	270 „	¼ „	Verunglückt, Filter zerbrochen	???	Linker Unterlappen 2 Tuberkel, Linker Oberlappen 1 Tuberkel, Rechter Oberlappen 1 Tuberkel, Linke Bronchialdrüse kirschgroß, Rechte Bronchialdrüse bohngroß, beide stark verkäst.

Es mußten daher offenbar der Berechnung der einzelnen Versuche je nach deren Zeitdauer verschiedene Quotienten zugrunde gelegt werden. Selbst dann war das berechnete Resultat immer noch als ein relativ unsicheres anzusehen, da auch bei Einhaltung der gleichen Zeitdauer der Versuche sehr starke Schwankungen vorkommen. — Bis zu einem gewissen Grade tritt in Tabelle III auch eine Abhängigkeit zwischen Körper- bzw. Lungengewicht und der Menge der eingeatmeten Sporen hervor, die aber nicht konstant genug war, um in den folgenden Rechnungen berücksichtigt zu werden.

Die Tabellen IV und V geben die Resultate der mit Tuberkelbazillen angestellten Inhalationsversuche wieder, zu welchen der neue Inhalationsapparat und wiederum der Staub aus der Baumwollspinnerei benutzt

wurde. Letzterer war in den Versuchen der Tabelle IV und V mit phthisischem Sputum imprägniert.

Tabelle V.
Versuche am Windradapparat. Staub aus Baumwollspinnerei mit
Sputum eines Phthisikers imprägniert.

$$\frac{b}{a} = \frac{3}{5}; \quad \frac{L}{F} = \begin{cases} \text{bei 10 Min. } \frac{1}{12} \\ \text{„ 30 „ } \frac{1}{33} \\ \text{„ 60 „ } \frac{1}{60} \end{cases}$$

Lfd. Nr.	Gewicht des Tieres	Dauer des Versuchs	Zahl der Sporen in den Filtern (m)	Zahl der Tuberkelbazillen in den Lungen	Sektionsbefund
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1	330 ^{gmm}	10 Min.	9 000	ca. 450	Nichts Krankhaftes.
2	240 „	5 „	12 000	„ 600	Nichts Krankhaftes.
3	530 „	1/2 Std.	35 000	„ 600	Nichts Krankhaftes.
4	250 „	10 Min.	24 000	„ 1 200	Rechter Unterlappen 1 Tuberkel, Rechte Bronchialdrüse nur mäßig geschwollen.
5	260 „	15 „	34 000	„ 1 500	Rechter Unterlappen 1 Tuberkel, Rechte Bronchialdrüse erbsengroß, verkäst.
6	240 „	15 „	120 000	„ 3 600	Rechter Mittellappen 1 Tuberkel, Rechte Bronchialdrüse etwas über erbsengroß, verkäst.
7	520 „	1/2 Std.	1 000 000	„ 18 000	Rechter Unterlappen 2 Tuberkel, Rechte Bronchialdrüse bohngroß, verkäst.

Das Ergebnis dieser Versuche läßt sich dahin zusammenfassen, daß 450 und 600 Tuberkelbazillen noch unwirksam waren, während ca. 700 Bazillen bereits Tuberkelbildung bewirkt hatten. In den Versuchen der Tabelle IV waren die pathologischen Veränderungen bei gleicher Dosis etwas stärker als in den Versuchen der Tabelle V.

In Tabelle VI ist dann noch eine Versuchsreihe mit Kulturbazillen und dem gleichen Staub zugefügt. Hier waren einmal ca. 400 Bazillen positiv, ein anderes Mal freilich 2000 negativ.

Im ganzen harmonieren die Resultate der letzten Versuche mit denen der Tabelle II, so weit man dies bei den starken Schwankungen des Quotienten $\frac{L}{F}$ überhaupt erwarten durfte.

Da der neue Apparat die Größe der Schwankungen kaum gebessert hatte, lag der Gedanke nahe, daß vielleicht auch die Art des Staubes an diesen beteiligt und für die vorliegenden Versuche nicht recht geeignet sei. Der Baumwollstaub bestand aus sehr verschiedenartigen, in bezug

auf Schwebefähigkeit vielleicht sehr ungleichen Elementen. Da das Aufwirbeln des Staubes keineswegs immer mit der gleichen Energie erfolgte, so konnte bald ein größerer, bald ein kleinerer Teil des Staubes schwebend erhalten werden und für die Inhalation in Betracht kommen. Sicher entsprach auch der Baumwollstaub, den ich ursprünglich nur gewählt hatte, weil er sehr leicht aufzuwirbeln war, nicht den natürlichen Verhältnissen; und ich habe daher eine weitere Versuchsreihe mit Wohnungsstaub zugefügt, den ich von Schränken und Regalen des Instituts sammelte und noch mit einem Zusatz von feinsten, durch Zerreiben eines Taschentuchs gewonnenen Stofffasern versah.

Tabelle VI.

Versuche am Windradapparat. Staub aus Baumwollspinnerei mit Kultur-Tuberkelbazillen imprägniert.

$$\frac{b}{a} = \frac{1}{10}; \frac{L}{F} = \begin{cases} 10 \text{ Min.} = \frac{1}{12} \\ 30 \text{ „} = \frac{1}{33} \\ 60 \text{ „} = \frac{1}{60} \end{cases}$$

Lfd. Nr.	Gewicht des Tieres	Zeit, während der das Tier den Staub geatmet hat	Zahl der Sporen in den Filtern (m)	Zahl der geatmeten Tuberkelbazillen	Sektionsbefund
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1	250 ^{grm}	5 Minuten	24 000	ca. 400	Nichts Krankhaftes.
2	???	5 „	260 000	„ 4 300	Rechter Oberlappen 1 Tuberkel, Linker Oberlappen 1 Tuberkel, Linke Bronchialdrüse bohnen- groß, verkäst. Rechte Bronchialdrüse erbsengroß, auch verkäst.
3	310 ^{grm}	$\frac{1}{4}$ Stunde	365 000	„ 2 000	Nichts Krankhaftes.
4	340 „	$\frac{1}{2}$ „	1 500 000	„ 4 000	Linker Oberlappen 2 Tuberkel, Linker Mittellappen 2 Tuberkel, Linker Unterlappen 2 Tuberkel, Rechter Unterlappen 3 Tuberkel, Linke Bronchialdrüse 1 stecknadel- kopfgroßer Käseherd, beide bohnen- groß, sonst nichts.
5	520 „	1 „	2 000 000	„ 3 000	Linker Oberlappen 3 Tuberkel, Linker Unterlappen 4 Tuberkel, Rechter Oberlappen 1 Tuberkel, Rechter Unterlappen 2 Tuberkel. Beide Bronchialdrüsen bohnen- groß, nicht verkäst.
6	480 „	20 Minuten	3 900 000	„ 18 500	Linker Unterlappen 2 Tuberkel, Rechter Unterlappen 1 Tuberkel, Beide Bronchialdrüsen bohnen- groß, rechte verkäst.

Für diesen Staub bestimmte ich in den in Tabelle VII zusammengestellten Versuchen wiederum den Quotienten $\frac{L}{F}$. Ich erhielt nun viel konstantere Resultate. Der Mittelwert ist 2 Prozent = $\frac{1}{50}$, und von diesem kommen Abweichungen bis 1·3 und andererseits bis 2·86 Prozent vor. Auch der Einfluß der Differenzen in der Zeitdauer verwischt sich. Der Wohnungsstaub ist offenbar ein Material, welches in allen seinen Teilen gleichmäßiger schwebefähig ist, als der aus sehr verschiedenwertigen Anteilen zusammengesetzte Baumwollstaub.

Die Tabellen VIII und IX geben die bei den einzelnen Versuchen erhaltenen Zahlen. In der ersten Reihe beginnt die Infektion erst von etwa 2000 Bazillen an, ist sogar bei ca. 4000 einmal noch negativ; in der zweiten Reihe erfolgt einmal bei etwa 300 Bazillen Infektion, aber bei mehreren stärkeren Dosen wieder nichts und erst bei nahezu 4000 Bazillen abermals Infektion.

Im ganzen liegen also die wirksamen Dosen höher als beim Baumwollstaub; sie nähern sich den Werten, die letzterer bei längerer Versuchsdauer ergeben hat. Schwankungen der Bazillenzahl sind indes immer noch reichlich vorhanden. Das wird auch kaum zu vermeiden sein, da die Gleichmäßigkeit der Verteilung der bazillenträgenden Stäubchen in der Atmungsluft niemals auch nur annähernd so vollkommen erreicht werden wird, wie bei feinen Spraytröpfchen.

Um mit versprayten Tuberkelbazillen noch einen genaueren Vergleich zu ermöglichen, habe ich dasselbe phthisische Sputum, mit dem in den Versuchen der Tabelle IX der Wohnungsstaub imprägniert war, zu einem quantitativ abgestuften Versprayungsversuch im Inhalationsturm benutzt. Das Resultat ist in Tabelle X niedergelegt. Die gleichzeitige Sektion beider Tierreihen nach Ablauf von 4 Wochen machte einen geradezu verblüffenden Eindruck. Bei den Staubtieren höchstens vereinzelte Knötchen, bei größeren Dosen auch nicht entsprechend vermehrt; dagegen bei den Spraytieren Übersäung der Lunge mit Tuberkeln, deren Zahl schon bei der kleinsten Dosis von 50 Bazillen über 20 betrug; und bei einer Dosis von 2000 Bazillen, die in Staubform noch unsicher war und unter Umständen keinerlei Veränderung hervorrief, eine so dichte Lagerung der Tuberkel, Knoten an Knoten, daß man eigentlich nicht wußte, womit das Tier noch geatmet hatte.

Inhalation bazillenhaltiger Tröpfchen bewirkt daher nach allen vorliegenden Versuchen in viel kleineren Dosen und viel gleichmäßiger Infektion, als Inhalation bazillenhaltigen Staubes. Von letzterem wird ein erheblich größerer Anteil als bei den Tröpfchen in den Eingängen zum Respirationstraktus zurückgehalten; nur 2 bis 7 Prozent, gegen 33 Prozent

Tabelle VII.

Versuche am Windradapparat zur Bestimmung des Quotienten $\frac{L}{F}$
mit Wohnungsstaub.

Lfd. Nr.	Gewicht des Tieres	Gewicht der Lunge	Dauer des Versuchs	Summe der in den Filtern wiedergefun- denen Keime	In Lunge wieder gefunden	Von den im Liter Luft enthaltenen Keimen kamen also in die Lungen
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	180 ^{grm}	1.18 ^{grm}	10 Min.	100 000	2 860	2.86 Proz.
2	170 „	1.44 „	10 „	170 000	3 300	1.9 „
3	290 „	2.15 „	10 „	1 000 000	18 000	1.8 „
4	180 „	1.6 „	10 „	150 000	2 550	1.6 „
5	220 „	1.53 „	$\frac{1}{2}$ Std.	300 000	5 000	1.7 „
6	220 „	1.8 „	$\frac{1}{2}$ „	785 000	10 000	1.3 „
7	600 „	3.98 „	1 „	1 300 000	30 000	2.3 „
8	560 „	3.6 „	1 „	620 000	14 000	2.3 „

Tabelle VIII.

Versuche am Windradapparat.
Wohnungsstaub mit Sputum eines Phthisikers imprägniert.

$$\frac{b}{a} = \frac{1}{20} \cdot \frac{L}{F} = \frac{1}{50}.$$

Lfd. Nr.	Gewicht des Tieres	Dauer des Versuchs	Zahl der Sporen in den Filtern (m)	Zahl der Tuberkel- bazillen in den Lungen	Sektionsbefund
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1	225 ^{grm}	$\frac{1}{2}$ Stunde	500 000	ca. 500	Nichts Krankhaftes.
2	200 „	5 Min.	1 000 000	ca. 1000	Nichts Krankhaftes.
3	200 „	10 „	1 230 000	ca. 1200	Nichts Krankhaftes.
4	210 „	10 „	2 500 000	ca. 2500	Nichts Krankhaftes.
5	230 „	15 „	2 600 000	ca. 2600	Rechter Oberlappen 2, linker 1 Tuberkel. Beide Bronchialdrüsen erbsengroß, verkäst.
6	230 „	15 „	2 900 000	ca. 2900	Rechter Oberlappen 1 Tuberkel. Rechte Bronchialdrüse erbsen- groß, großer Käseherd darin.
7	220 „	$\frac{1}{2}$ Stunde	4 bis 6 Mill. Platten sehr dicht gewach- sen, so daß nicht genau zu zählen	etwa 4 bis 6000	Nichts Krankhaftes.

Tabelle IX.

Versuche am Windradapparat mit Wohnungsstaub, imprägniert mit demselben Sputum, mit dem die Versuche der Tabelle X angestellt sind.

$$\frac{b}{a} = \frac{1}{6}; \frac{L}{F} = \frac{1}{50}.$$

Lfd. Nr.	Gewicht des Tieres	Zeit, während der das Tier den Staub geatmet	Zahl der Sporen in den Filtern (m)	Zahl der Tuberkelbazillen in den Lungen	Sektionsbefund
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1	270 ^{gram}	20 Min.	20 000	ca. 70	Nichts Krankhaftes.
2	460 „	10 „	100 000	ca. 300	In rechtem und linkem Oberlappen je 1 Tuberkel. Beide Bronchialdrüsen bohnen groß, käsig, Milz leicht geschwollen, einige Lymphknötchenschwellung.
3	280 „	10 „	100 000	ca. 300	Nichts Krankhaftes.
4	400 „	10 „	200 000	ca. 600	Nichts Krankhaftes.
5	350 „	1/2 Std.	700 000	ca. 2000	Nichts Krankhaftes.
6	410 „	1 „	1 100 000	ca. 3500	In rechtem Ober- u. linkem Unterlappen je 1 Tuberkel. Beide Bronchialdrüsen bohnen groß, verkäst.

Tabelle X.

Versuche am Inhalationsturm mit verspraytem Sputum eines Phthisikers.

Lfd. Nr.	Zeit, während der das Tier den Sputumspray geatmet hat	Zahl der Tuberkelbazillen in den Lungen	Gewicht des Tieres beim Versuch	Sektionsbefund
1.	2.	3.	4.	5.
1	5 Minuten	50	280 ^{gram}	Linker Unterlappen 7, rechter Unterlappen 10, rechter Oberlappen 5 Tuberkel (Sa. 22). Rechte Bronchialdrüse bohnen groß, verkäst, linke erbsengroß, hart. Milz 3 ^{cm} lang, 2 ^{cm} breit, starke Lymphfollikel.
2	5 „	50	250 „	Linker Unterlappen 10, linker Oberlappen 6, rechter Unterlappen 10, rechter Oberlappen 8 (Sa. 34) Tuberkelknoten. Im übrigen wie voriger. Beide Bronchialdrüsen bohnen groß.

Tabelle X. (Fortsetzung.)

Lfd. Nr.	Zeit, während der das Tier den Sputumspray geatmet hat	Zahl der Tuberkelbazillen in den Lungen	Gewicht des Tieres beim Versuch	Sektionsbefund
1.	2.	3.	4.	5.
3	10 Minuten	100	280 ^{gmm}	Über 50 Tuberkel in den Lungen. Im übrigen wie vorig. Außerdem Portal- und Mesenterialdrüsen erbsengroß, hart, kein Käse.
4	5 „	100	270 „	Reichlich Tuberkel in wachsender Menge, Zählen wird immer schwieriger. Beide Bronchialdrüsen bohnen groß, verkäst. Im übrigen wie vorig. Keine Mesenterialdrüsenanschwellung.
5	5 „	100	250 „	Wie voriges Tier.
6	20 „	400	270 „	Wie voriges Tier, nur viel mehr Tuberkelknoten.
7	5 „	500	275 „	Weitere Zunahme.
8	10 „	1000	270 „	Fast wie das nächste Tier.
9	20 „	2000	265 „	In den Lungen Knoten an Knoten. Beide Bronchialdrüsen bohnen groß, verkäst. Milz 3:1,5 ^{cm} , Lymphknötchen stark geschwoll. Tier sehr mager, wiegt nur 260 ^{gmm} .

bei den Tröpfchen, gehen im Mittel bis zu den feinsten Bronchien durch. Von den in Staubform durchgedrungenen Tuberkelbazillen bewirkt aber ferner nur ein kleinerer Bruchteil Infektion, während die in Tröpfchenform hingelangten Bazillen fast ausnahmslos Tuberkelbildung veranlassen. Dieser Unterschied erklärt sich wohl daraus, daß die Stäubchen einer nachträglichen Beseitigung und einer Schädigung durch die Schutzrichtungen des Körpers mehr ausgesetzt sind, als die bazillenhaltigen Schleimtröpfchen.

Die Stäubchen, die sich an die Wand der Bronchien ansetzen, bilden vermutlich einen Reiz für die Auslösung der Flimmerbewegung, durch die sie schleunigst, ehe die in einem trockenen Schleimklümpchen an ihnen festgeklebten Bazillen Schaden stiften können, wieder entfernt werden. Für eine Auslösung des im gleichen Sinne wirksamen Hustenreizes sind wohl die in Betracht kommenden Staubelemente zu klein.

Für die Teilchen, die der Flimmerbewegung entgangen sind, wird ebenfalls in Betracht kommen, daß das kleine Schleimklümpchen erst erweicht werden muß, ehe der darin enthaltene Bacillus aggressiv vorgehen

kann. Das erfordert Zeit, und während dieser hat vielleicht der Körper schon Schutzkräfte am Ort der Invasion entfaltet, die zunächst nur gegen den Fremdkörper gerichtet sind, aber mit diesem auch den Bacillus treffen. Schon beim Eintrocknen und Zerlegen zu feinstem Staub wird eine teilweise Schwächung der Tuberkelbazillen eintreten; viele von ihnen werden nicht mehr imstande sein, den wohl vorbereiteten Kampf zu überstehen, den der Körper gegen sie eröffnet, sobald sie aus der umschließenden Hülle frei werden. Ob man da in erster Linie an die Phagozytose denken muß, lasse ich dahingestellt.

Das flüssige, bazillenhaltige Schleimtröpfchen aber mischt sich sofort mit dem die Bronchien auskleidenden Schleim, der von gleicher Beschaffenheit ist, wie das Substrat des Vehikels. Das Tröpfchen liefert daher keinen Reiz für die Auslösung der Flimmerbewegung, und der Tuberkelbacillus kann sofort ungeschwächt und vollvirulent gegen das noch unverteidigte Epithel zum Angriff vorgehen.

II. Teil.

Zur Beantwortung der zweiten Frage, ob und in welchem Umfang unter den Verhältnissen der natürlichen Umgebung des Menschen durch Inhalation verstäubter Tuberkelbazillen Infektion erfolgen kann, wiederholte ich zunächst den bekannten Cornetschen, angeblich unter voller Berücksichtigung der natürlichen Verhältnisse angestellten Teppichversuch.

In der Sitzung der Berliner medizinischen Gesellschaft vom 16. März 1898 berichtete Cornet über diesen Versuch, bei dem er auf einem Teppich angetrocknetes tuberkulöses Sputum mit scharfem Besen in einem Zimmer so kräftig zusammenkehrte, daß mächtige Staubwolken aufwirbelten und er selbst stark in Schweiß geriet; trotz eines Kopf und Körper deckenden Überkleides konnte Cornet im eigenen Nasenschleim nach Beendigung des Versuchs Tuberkelbazillen nachweisen. Das Ergebnis war, daß 46 von 48 in der nächsten Umgebung des Teppichs exponierten Meerschweinchen an Tuberkulose erkrankten.

Bei meiner Wiederholung des Versuchs benutzte ich einen Glaskasten von etwa 3^{ebm} Inhalt; in diesen setzte ich 9 Meerschweinchen in Höhen von 0.5, 1.0 und 1.5^m, und zwar in jeder Höhe 3. Der Kasten wurde dann von außen sorgfältig abgedichtet. Zwei Scheiben des Kastens waren in der schon früher von Heymann beschriebenen Weise herausgenommen und durch einen Sack von Mosetigbattist ersetzt, in dessen Mitte der Stiel des zum Staubaufwirbeln benutzten Werkzeugs fest eingebunden war.

Ich stellte 2 Versuche an, das eine Mal trocknete ich bei ca. 35° bis 40° C. Sputum an einem Brett an, das ich dann auf dem Boden des Kastens annagelte. Darauf streute ich Straßenstaub, zerrieb das trockene Sputum mit einem Holzschrubber (der den mit Straßenstaub behafteten Stiefeln entsprechen sollte), und wirbelte dieses Staubgemenge mit einem scharfen Reiserbesen tüchtig auf.

Die 9 Meerschweinchen blieben 2 Stunden, während deren ich in Pausen von etwa 10 Minuten immer wieder Staub aufwirbelte, in dem Kasten.

Beim zweiten Versuch trocknete ich das Sputum in derselben Weise an einem alten Smyrnateppich an, der dann mit dem Reiserbesen tüchtig gefegt wurde.

Ein Tier (Tabelle XI, Nr. 9) starb zu früh (nach 9 Tagen), wahrscheinlich infolge einer kolossalen Bißwunde am Rücken. Es zeigte noch keine Erscheinungen von beginnender Tuberkulose.

Die übrigen 17 Tiere wurden nach etwa 6 Wochen getötet und obduziert. Nach dieser Frist lassen sich die primären, durch Inhalation entstandenen Lungenherde meist noch gut scheiden von den späteren, nach Verkäsung jener ersten Herde, sekundär etablierten tuberkulösen Veränderungen. Wartet man noch länger mit der Sektion, dann wird die Ausgangsstelle des Prozesses zu sehr verwischt. Solche vorgeschrittene Stadien hatte offenbar Cornet bei einem Teil der Tiere seines Teppichversuchs vor sich; leider macht er keine Angabe, wie lange nach der Inhalation die Sektion vorgenommen war. Tötung nach 23 bis 28 Tagen gibt bei Inhalationsversuchen die reinsten Bilder und hätte vermutlich auch in diesem Falle die deutlichsten Befunde ergeben.

15 Tiere zeigten (vgl. Tabellen XI. und XII.) als primäre Lokalisationen meist nur 1 oder 2 mindestens hanfkorngroße, z. T. schon verkäste Tuberkel in den Lungen, daneben kirschgroße verkäste Bronchialdrüsen und eine frische disseminierte Miliartuberkulose. — Ein Unterschied in der Ausdehnung des primären Prozesses etwa zwischen den Tieren der unteren und oberen Etage war nicht zu bemerken. — 2 Tiere zeigten nichts Krankhaftes.

Eine annähernde Berechnung der Mengen von Tuberkelbazillen, welche bei diesen Versuchen in der stauberfüllten Kastenluft den Meerschweinchen zur Verfügung standen bzw. von ihnen eingeatmet wurden, ergibt folgendes: Beide Male verwandte ich 30^{cem} eines Sputums, das in 1^{cem} etwa 5 Millionen Tuberkelbazillen enthielt. Es wurden also in jedem Versuch gegen 150 Millionen Tuberkelbazillen verstäubt, die in den 3^{cbm} Luft, die der Glaskasten faßt, durch stets erneutes Aufwirbeln während 2 Stunden schwebend erhalten wurden. Wenn 3^{cbm} Luft 150 Millionen

Tabelle XI. I. Cornetscher Versuch (mit Brett).

Lfd. Nr.	Etage	Sektionsbefund	Bemerkungen
1.	2.	3.	4.
1	Oben 1·50 m hoch	In linker Lunge 1 verkäster Tuberkel. Rechte Bronchialdrüse wie eine kleine Kirsche groß, verkäst. Leber voller stecknadelkopfg. gelber Abszesse. Milz doppelt so groß als normal, weich.	
2	Oben 1·50 m hoch	In linker Lunge 1, in rechter 2 verkäste Tuberkel. Beide Bronchialdrüsen fast kirschgroß, verkäst. Milz doppelt so groß als normal.	
3	Oben 1·50 m hoch (s. Bemkg.)	In rechter Lunge 1 verkäster Tuberkel. Rechte Bronchialdrüse fast kirschgroß, verkäst. In Leber massenhaft stecknadelkopfgroße Abszesse. Milz wie Nr. 2.	Tier saß unruhig und fiel während des Versuches herunter. Lag 1 Stunde am Boden, also direkt auf der Staubquelle.
4	Mitte 1 m hoch	In beiden Lungen je 1 hanfkorn- und 4 hirsekorngroße Tuberkelknoten. Zahlreiche frische submiliare Knoten. Bronchialdrüsen kirschgroß, Käsesäcke. Milz sehr groß, starke Schwellung der Lymphkörperchen. Portaldrüse bohnen- groß, hart, keine Käseherde.	Offenbar schon allgemeine disseminierte Miliartuberkulose. Diesen Befund boten übrigens auch die meisten anderen Tiere dieser Tabelle, ohne daß ich es besonders notierte.
5	Mitte 1 m hoch	In beiden Lungen zusammen 4 z. T. verkäste Tuberkel. Viele submiliare Knötchen. Milz stark vergrößert, Lymphkörperchenschwellung, einige Tuberkel. Portaldrüse fast bohnen- groß. Bronchialdrüsen fast kirschgroß, verkäst. In der Leber zahlr. stecknadelkopfg. Abszesse.	
6	Mitte 1 m hoch	In rechter Lunge 2 hanfkorn- große Knoten, einer verkäst. Rechte Bronchialdrüsen kirschgroß, verkäst. Portal- und Ileocoecaldrüsen erbsengroß, hart. Milz vergrößert, Lymphkörperchen geschwollen. In der Leber kleine eitrige Abszesse.	
7	Unten 0·50 m hoch	Nichts Krankhaftes. Bronchialdrüsen kaum hanfkorn- groß.	
8	Unten 0·50 m hoch	In jeder Lunge 1 Tuberkel. Beide Bronchialdrüsen kirschgroß, verkäst. Im Käse der Drüsen wie der Tuberkel werden massenhaft Tuberkelbazillen nachgewiesen.	
9	Unten 0·50 m hoch	Nichts Krankhaftes zu finden.	Am 10. Tage spontan gest., wahrscheinl. infolge großer Bißwunde auf dem Rücken.

Tabelle XII. II. Cornetscher Versuch (mit Teppich). 24. III. 08.

Lfd. Nr.	Etage	Sektionsbefund	Bemerkungen
1.	2.	3.	4.
1	Oben 1.50 m hoch	In jeder Lunge 1 verkäster hanfkorngroßer Tuberkel, zahlreiche submiliare, frische. Linke Bronchialdrüse bohnen-, rechte erbsengroß, in beiden Käseherde. Portaldrüse bohnen groß, darin 6 Käseherde. Milz voller geschwollener Lymphknoten, einige Tuberkeln. In Leber kleine, gelbe, stecknadelkopfgroße Abszesse.	Offenbar schon disseminierte Miliar-Tuberkulose.
2	Oben 1.50 m hoch	In jeder Lunge 1 Tuberkel. Beide Bronchialdrüsen kirschgroß, stark verkäst. Milz geschwollen, Portaldrüse erbsengroß. In Leber wenige Abszesse.	
3	Oben 1.50 m hoch	In jeder Lunge 1 Tuberkel, zahlreiche submiliare. Bronchialdrüse kirschgroß, stark verkäst. Milz stark geschwollen, voller großer Lymphknötchen. Portaldrüse bohnen groß, hart, ohne Käse. In Leber kleine Abszesse.	Wie Nr. 1
4	Mitte 1 m hoch	Nichts Krankhaftes.	
5	Mitte 1 m hoch	In linker Lunge 1 verkäster Tuberkel. Linke Bronchialdrüse bohnen groß, mit Käseherden. Rechte erbsengroß, weich. Milz etwa doppelt so groß als normal, voll geschwollener Lymphknoten. Portaldrüse erbsengroß, jedoch weich. In Lunge zahlreiche submiliare Knötchen. In Leber kleine Abszesse.	Wie Nr. 1
6	Mitte 1 m hoch	In jeder Lunge 1 Tuberkel. Bronchialdrüsen verkäst, zu einem pflaumengroßen Paket vereinigt. Follikelschwellung in der Milz. Portaldrüse etwas über hanfkorn groß.	
7	Unten 0.50 m hoch	In rechter Lunge 1 Tuberkel, käsig. Rechte Bronchialdrüse kirschgroß, käsig. In Lunge reichlich submiliare Knötchen. Follikelschwellung in der Milz. Portaldrüse erbsengroß, hart.	Wie Nr. 1
8	Unten 0.50 m hoch	In rechter Lunge 1 Tuberkel. Rechte Bronchialdrüse bohnen groß mit reichlich Käse, linke erbsengroß, weich. Follikelschwellung der Milz. Portaldrüse erbsengroß, weich. In Lungen submiliare Knötchen.	Wie Nr. 1
9	Unten 0.50 m hoch	In linker Lunge 2 Tuberkel. Linke Bronchialdrüse kirschgroß, verkäst. Rechte Bronchialdrüse erbsengroß, weich. Milz vergrößert, Follikelschwellung, Portaldrüse erbsengroß, weich. Ileocoecaldrüse hanfkorn groß.	

Tuberkelbazillen enthalten, so enthält 1 Liter Luft 50 000 Tuberkelbazillen. Das Meerschweinchen atmet in 10 Minuten 3 Liter Luft, in 2 Stunden 36 Liter Luft. In diesen konnten also enthalten sein 1 800 000 Tuberkelbazillen. Nehmen wir nach meinen vorstehend mitgeteilten Versuchen mit dem Inhalationsapparat an, daß nur 2 Prozent der verstäubten Bazillen in die Lunge gelangen, so hätte jedes Meerschweinchen ca. 36 000 Tuberkelbazillen während des Versuches in die Lunge aufgenommen.

Nun ist allerdings wohl nicht das ganze trockene Sputum vom Brett bzw. Teppich losgelöst; ferner werden die losgelösten Teile nicht sämtlich in so feinen Staub übergeführt sein, daß sie gut flugfähig waren. Auch ist ein Teil — vielleicht die Hälfte — des ganzen Staubes während des Versuchs zur Ablagerung an Stellen gekommen, von wo er nicht wieder aufgewirbelt wurde. So mag im ganzen vielleicht nur $\frac{1}{10}$ der berechneten Zahl von Tuberkelbazillen in die Lunge der Tiere gelangt sein; das wären 3600 Bazillen und das ist in der Tat eine Zahl, welche nach meinen früheren Feststellungen in der Form von Wohnungsstaub zu jenen spärlichen tuberkulösen Herden in der Lunge führt, die ich bei der Sektion fand. Auch der Umstand, daß 2 Tiere frei von Tuberkulose blieben, zeigt, daß die Bazillenzahl des Staubes in diesen Versuchen sich an der Grenze der wirksamen Dosis bewegt hat.

Unter welchen Verhältnissen war aber diese Grenzdosis von Bazillen im Staub erlangt? Entsprechen diese den natürlichen Verhältnissen in menschlichen Wohnungen?

Ganz gewiß nicht. Die Beschmutzung mit Sputum war stark übertrieben; auch Cornet verwendete das ganze, von einem Patienten von 7 bis 11 Uhr entleerte Morgensputum, von dem unter natürlichen Verhältnissen doch sicher nur Bruchteile auf Fußboden oder Teppich gelangt wären. Dann ist es in den Versuchen unverzüglich getrocknet und nach dem Trocknen aufgewirbelt, während in praxi das vollständige Eintrocknen und die Verstäubung von wechselnden Zufälligkeiten abhängt. Vor allem aber wird unter natürlichen Verhältnissen niemals ein Teppich oder Fußboden mit einem „scharfen“ Besen so bearbeitet, wie es in den Versuchen geschah, sondern das Fegen erfolgt mit Haarbeseu, die nur vorhandene feinste trockene Stäubchen aufzuwirbeln vermögen. Die kräftigen Bewegungen mit dem straffen Besen schleuderten durch mechanische Kraft fortgesetzt auch gröbere und schwere Staubteilchen in dem Atembereich der Versuchstiere, und dem Wiederabsetzen dieser eigentlich gar nicht flugfähigen Partikel wurde immer aufs neue entgegengearbeitet. — Endlich lag in der zeitlichen Ausdehnung des Versuchs eine starke Übertreibung. Beim Fegen eines Fußbodens oder Teppichs findet doch nur für wenige Minuten ein stärkeres Aufwirbeln von grobem Staub statt;

während in den Versuchen die dichte Staubwolke 2 Stunden lang unterhalten wurde (Cornet macht über die Dauer seines Versuchs keine Angaben).

Es ergibt sich aus Cornets und meinen Versuchen zwar zweifellos, daß sich aus phthisischem Sputum ein Staub herstellen läßt, dessen Einatmung Tuberkulose der Lunge hervorrufen kann. Aber die Bedingungen, die dazu erforderlich sind, die Menge des in feinen Staub überführbaren Sputums, die lange fortgesetzte Aufwirbelung dieses Staubes, die große Zahl von Tuberkelbazillen, die eingeatmet werden muß, um tuberkulöse Veränderungen zu bewirken — sind in der alltäglichen Umgebung des Menschen nicht erfüllt. Es lassen sich solche Verhältnisse denken und konstruieren; wenn z. B. größere Mengen phthisisches Sputum in ein Abteil eines Eisenbahnwagens entleert werden, dort Gelegenheit finden anzutrocknen und durch die mechanischen Erschütterungen des Wagens fortwährend aufgewirbelt werden; oder wenn in einer Wohnung Kinder auf einem Fußboden oder Teppich spielen, der eine Zeitlang vorher stark bespuckt und dann dem Trocknen ausgesetzt war; oder wenn in einer solchen Wohnung durch Fegen, Klopfen, Bürsten der früher bespuckten Teile langdauernd Staub aufgewirbelt wird und Kinder in diesem Staub sich aufhalten.

Das sind doch aber alles Ausnahmefälle. Für gewöhnlich wird ein Eisenbahnabteil nicht so bespuckt und nicht so schlecht gereinigt, daß die zurückbleibenden antrocknenden Sputumteile noch eine ernstlichere Gefahr repräsentieren; und auch unter den desolatesten Wohnungsverhältnissen kommt eine solche Sputumausstreung und eine so irrationelle Reinigung kaum vor, daß der Tuberkelbazillengehalt des Luftstaubes an den jener Teppichversuche heranreicht.

Eine ausgedehntere Gefahr der natürlichen Wohnungsverhältnisse würde dagegen nur dann vorliegen, wenn der flugfähige tuberkelbazillenhaltige Staub, der bei gelegentlichem Fegen und bei Hantierungen aller Art sich erhebt, und bei ruhiger Luft und Fehlen von Erschütterungen auf Tischen, Stühlen, Schränken usw. sich ablagert, des öfteren so viel Tuberkelbazillen enthält, daß es für eine Infektion durch Inhalation ausreicht. Dieser Staub ist nach Heymanns Untersuchungen — auch wenn nur trocknes Sammeln in einiger Höhe des Zimmers eingehalten wird, um sicher nur flugfähigen Staub zu erhalten — in einem gewissen Prozentsatz tuberkelbazillenhaltig und infektiös für Meerschweinchen bei subkutaner oder intraperitonealer Einverleibung.

Daraus können wir aber noch nicht ersehen, ob der Tuberkelbazillengehalt solchen Staubes auch Infektion durch Inhalation zu bewirken vermag; und erst wenn dies der Fall wäre, hätten wir das Recht von der

Gefahr solchen Staubes für das Zustandekommen einer Inhalations-tuberkulose zu entsprechen.

Ich habe daher im folgenden noch zwei Versuchsreihen angestellt, welche zur Beantwortung dieser Frage beitragen sollten, und in denen ich den gesammelten Staub teils von Versuchstieren inhalieren ließ, teils, zum Vergleich mit den früheren Untersuchungen Heymanns, subkutan einverleibte. Bei der ersten Versuchsreihe, deren Resultate in Tabelle XIII aufgeführt sind, verwendete ich Staub aus hiesigen Wohnungen von Schwindsüchtigen. Bei der zweiten Reihe (Tabelle XIV) benutzte ich Staub aus den Phthisikersälen einiger Krankenanstalten.

Geeignete Wohnungen von Phthisikern wurden mir von Breslauer Armenärzten und von der Fürsorgestelle der Landesversicherungsanstalt nachgewiesen. Ich bemühte mich, hygienisch möglichst desolate Verhältnisse herauszufinden, und wurde darin von den Herren Kollegen in dankenswertester Weise unterstützt; einige haben mich persönlich durch ihre Armenpraxis geführt. Obwohl ich auf diesen Gängen reichlich Gelegenheit hatte, Großstadtelend schlimmster Art kennen zu lernen, fand ich doch nirgends das, was ich eigentlich suchte, nämlich eine möglichst schmutzige Wohnung, deren kranke Bewohner ihr Sputum in größerer Menge auf den Fußboden entleeren, es dort in angetrocknetem Zustande zertreten und in Staubform aufwirbeln. Auch in der elendesten Behausung fand ich am Bett des Kranken oder in einer Ecke des Zimmers einen Eimer, einen zerbrochenen Topf oder irgend ein Gefäß vor, in das der Kranke sein Sputum entleerte. Wenn auch Flecken auf dem Fußboden in der Nähe des Eimers beweisen, daß einzelne Sputa gelegentlich neben das Gefäß geraten, so handelt es sich denn doch nicht um solche Mengen von Sputum und um eine solche Beladung der Luft mit tuberkelbazillenhaltigem Staub, daß nach meinen Versuchen darin eine häufigere Ursache für die Verbreitung der Phthise gefunden werden könnte.

Die Herren Kollegen sagten mir auch des öfteren, daß ich solche Verhältnisse, wie ich sie suchte, überhaupt nicht mehr in einem Kulturlande, oder zum mindestens nicht in den Städten finden würde; dafür Sorge der Verkehr mit zahlreichen Menschen, die bereits eine Krankenhaus- oder Heilstättenbehandlung durchgemacht haben, die Anschläge betreffend das Ausspuckverbot in den Straßenbahnwagen, in öffentlichen Lokalen usw. und schließlich noch der durch solche Aufklärung gesteigerte natürliche Ekel vor dem Auswurf. Die Entgegnung „es sei ihnen zu ekelerregend“ wurde mir auch oft von Kranken zuteil, wenn ich fragte, ob sie wohl ihr Sputum auf die Erde entleerten. — Nach Angabe der hiesigen Ärzte bedarf es auch bei einem erstmaligen Besuch kaum einmal des ärztlichen Rates, den Auswurf in einem besonderen Gefäß zu

sammeln. Viel schwieriger durchzusetzen sei es, das kranke Eltern sich nicht mit ihren Kindern beschäftigen; und ich selbst habe Kinder auf dem Arm oder gar im Bett kranker Eltern mehrfach gefunden.

Inwieweit die Entleerung des Auswurfs in das Taschentuch, die ich gelegentlich beobachtete, eine Gefahr für die Umgebung werden kann, lasse ich dahingestellt. Das Antrocknen und eventuelle Verstäuben vollzieht sich hier wohl entschieden leichter; ob aber die relativ großen, nach meinen Versuchen zur Infektion erforderlichen Mengen von Tuberkelbazillen häufig auf diese Weise in Staubform in die Luft gelangen, darüber kann ich kaum urteilen, möchte es aber bezweifeln, zumal anscheinend das Taschentuch immer nur aushilfsweise beim Spazierengehen oder während der Reinigung des Speisegerätes benutzt wird.

Den Staub entnahm ich ähnlich wie Heymann, d. h. ich fegte ihn mit feinen Tuschpinseln auf Regalen, Schränken, Türsimsen, Bilderrahmen zusammen und transportierte ihn in kleinen Glasfläschchen. Entnahme von Fußboden habe ich vermieden, weil dabei auch größere Partikel in die Proben gekommen wären, die bei dem starken künstlichen Aufwirbeln in meinem Inhalationsapparat wohl in die Atemluft übergehen konnten, aber nicht durch die unter natürlichen Verhältnissen in Betracht kommenden Luftströme und mechanischen Bewegungen. — Der Staub wurde fast immer unmittelbar, nur ausnahmsweise nach kurzer Aufbewahrung im Dunkeln, verwendet. Mikroskopisch bestand er aus Asche- und Kohlestäubchen, viel feinen, amorphen, nicht näher zu bestimmenden Elementen und reichlich Kleiderfasern, hauptsächlich Wolle und Baumwolle.

Von den etwa 70 Phthisikerwohnungen, deren Adressen mir die Herren Kollegen überließen, schieden eine Anzahl von vornherein nach den Angaben, andere bei Besichtigung der Verhältnisse aus. Benutzt habe ich nur die Wohnungen von Kranken mit möglichst florider Phthise, reichlichem Auswurf und positivem Bazillenbefund.

So blieben nur etwa 15 Wohnungen als brauchbar übrig. Von einigen derselben möchte ich wenigstens ein ungefähres Bild durch folgende Skizzierung entwerfen:

1. Paul Sp. 35 J. Piastenstraße.

Kleiner Vorraum, kleine Küche, daneben ein schmales einfenstriges Zimmer ($3.50:2.00^m$), an dessen einer Längswand 2 Betten, gegenüber Ofen, Sofa, Spind nur eben Platz haben. Hier hält sich der Kranke meist auf. Am Bett ein Eimer mit etwas Wasser gefüllt, darin einige Sputa. Reichlicher Husten. — Frau und ein Säugling halten sich meist in der Küche auf. — Staub entnommen vom Spind, einigen Bilderrahmen und einer Wanduhr über dem Sofa.

2. Paul H. 45 J. Sternstraße.

Wohnung unter dem Dach nach dem Hof. Niedrige Küche, daneben ebenso niedriges, kleines Schlaf- und Wohnzimmer, einfenstrig. H. ist dauernd bettlägerig, hustet viel. Über seinem Bett ein Bild, am Fußende des Bettes ein etwa mannshoher Schrank, stark bestäubt.

Von beiden Staubentnahme.

Auf einem Stuhl am Bett ein altes Glas, in welches das Sputum entleert wird.

3. Theodor W. 50 J. Herzogstraße, Hinterhaus.

Die aus dunklem Vorraum, gleichzeitig Küche, einem niedrigen, größeren, zweifenstrigen Wohnzimmer (4:3 m) und einem einfenstrigen, kaum 2 m breiten Schlafzimmer bestehende Wohnung liegt über einer Silberwäsche, von der aus Salpetersäuredämpfe beim Öffnen der Fenster in die Räume dringen. Der Kranke ist dauernd bettlägerig, hustet sehr viel. Am Bett ein alter eiserner Kochtopf, darin Sputa. Daneben auf der mit Sand bestreuten ungestrichenen Diele einige Flecke, die wohl von Auswurf herühren mögen. An einem Bettpfosten ein rötes, schmutziges Taschentuch „zum Mundwischen“.

Am Fußende des Bettes ein Sofa, am Kopfende ein mannshoher Schrank mit viel altem Gerümpel. Darauf viel Staub.

Gegenüber vom Sofa, ohne daß ein Gang dazwischen bleibt, ein etwa mannshohes Schreibspind. Staubentnahme von diesen Spinden.

Die ganze Wohnung macht einen sehr schmutzigen Eindruck.

Übrigens hat die Familie einige schulpflichtige und kleinere Kinder — die der Vater angeblich nie ins Bett nimmt — und hält zwei Schlafburschen.

4. Reinhold L. 28 J. Wörtherstraße.

Küche und Wohnzimmer miteinander nicht verbunden, sondern beide nur vom Korridor aus zu erreichen. Zwei Fenster nach dem Hof. Im Wohnzimmer, das sehr schmutzig ist, zwei Betten, ein Tisch, Kinderwagen, darin ein Säugling, am Kopfende des Krankenbetts ein mannshoher Kleiderschrank.

Der Kranke ist dauernd bettlägerig, hustet viel. Am Bett ein blecherner Topf mit Wasser für Sputum.

Staubentnahme von dem Kleiderschrank, einem Bild über dem Krankenbett und einem Spiegel an der gegenüberliegenden Wand.

Die Inhalation des in dieser Weise gesammelten Staubes erfolgte teils mit dem Gebläseapparat (1. Modell), teils mit dem Windradapparat (2. Modell). Als Versuchstiere wurden nur Meerschweinchen verwendet.

Trotzdem die Tiere bis zu 2 Stunden in einer überaus dichten Staubwolke saßen, sind sämtliche Versuche der beiden Reihen negativ ausgefallen (s. Tabellen XIII und XIV).

Von den zugehörigen 13 Kontrolltieren, die ich teils intraperitoneal, wie Heymann, teils subkutan mit dem Staub impfte, erkrankten zwei Tiere (15.4 Prozent, bei Heymann 18.4 Prozent) und zwar eins, das mit Staub aus Wohnungen intraperitoneal geimpft war, und eines, das

Tabelle XIII.
Versuche mit Inhalation von Staub aus Phthisikerwohnungen.

Lfd. Nr.	Gewicht des Tieres	Zeit, während der das Tier den Staub geatmet hat	Sektionsbefund (nach 4 bis 6 Wochen)	Bemerkungen
1.	2.	3.	4.	5.

I. Im Gebläseapparat.

1	390 ^{gram}	15 Minuten	Nichts Krankhaftes.	
2	500 „	1/2 Stunde	In Lunge 1 verdächtiger Knoten, jedoch ohne Riesenzellen und Tuberkelbazillen. Bronchialdrüsen erbsengroß, histologisch ohne krankhaften Befund. 1 Bronchialdrüse an Meerschweinchen intraperitoneal weitergeimpft. Dieses erkrankt nicht und zeigt bei Sektion nichts Krankhaftes, auch keine Knötchen in den Lungen. Demnach ist der Knoten in der Lunge als Lymphknoten anzusehen.	
3	550 „	1 „	In Lunge 1 verdächtiger Knoten, der sich jedoch mikroskopisch sicher als Lymphknoten erweist. Bronchialdrüsen erbsengroß, histologisch normal. Mit einer von ihnen 1 Meerschweinchen intraperitoneal geimpft. Sektion nach 8 Wochen nichts Krankhaftes.	

II. Im Windradapparat.

4	350 ^{gram}	10 Minuten	Nichts Krankhaftes.	
5	340 „	15 „	In Lungen nichts Krankhaftes. Bronchialdrüsen kaum hanfkorngroß. Leber und Milz voller hirsekorn- bis erbsengroßer Abszesse. Mesenterialdrüsen bis bohnen groß, ganz vereitert. Aus dem Eiter werden gezüchtet fast nur Diplokokken, die den Meningokokken ähnlich sehen, Gram-negativ sind, jedoch auf gewöhnlichem Agar wachsen. 2 Meerschweinchen intraperitoneal geimpft, davon zeigt nach 6 Wochen bei der Sektion keines krankhafte Veränderungen.	Saß mit Nr. 8 im selben Käfig.
6	300 „	20 „	Nichts Krankhaftes.	
7	310 „	30 „	Nichts Krankhaftes.	

Tabelle XIII. (Fortsetzung.)

Lfd. Nr.	Gewicht des Tieres	Zeit, während der das Tier den Staub geatmet hat	Sektionsbefund (nach 4 bis 6 Wochen)	Bemerkungen
1.	2.	3.	4.	5.
8	330 ^{gmm}	30 Minuten	An Lungen und Bronchialdrüsen nichts Krankhaftes. Hirsekorn- bis erbsengroße Abszesse in Leber und Milz. Milz kaum vergrößert. Mesenterialdr. bis pflaumen-große Eitersäcke. Im Eiter und den Abszeßwänden finden sich Diplokokken, Tuberkelbazillen können nicht nach-gewiesen werden.	Spontan ge-storben nach 26 Tagen.
9	320 „	1 Stunde	Nichts Krankhaftes.	
10	450 „	1 „	Nichts Krankhaftes.	
11	360 „	1 „	Nichts Krankhaftes.	
12	255 „	1 „	Nichts Krankhaftes.	
13	350 „	1 „	Nichts Krankhaftes. In rechter Lunge 3 hanfkorngroße Lymphknoten.	
14	400 „	1½ „	Nichts Krankhaftes.	
15	420 „	2 Stunden	Nichts Krankhaftes.	
16	380 „	2 „	Nichts Krankhaftes.	
17	520 „	2 „	Nichts Krankhaftes.	
18	365 „	2 „	Nichts Krankhaftes.	

Tabelle XIV. Versuche mit Staub aus Krankenanstalten.

Lfd. Nr.	Quelle des Staubes	Gewicht des Tieres	Zeit, während der das Tier den Staub geatmet hat	Sektionsbefund (nach 4 Wochen)
1.	2.	3.	4.	5.
I. Im Gebläseapparat.				
1	Wartezimmer der Landesfürsorge-anstalt für Lungen- kranke	??	15 Minuten	Nichts Krankhaftes.
II. Im Windradapparat.				
2	Phthisikersaal im Allerheiligenhospital	400 ^{gmm}	½ Stunde	Nichts Krankhaftes.
3	desgl.	300 „	½ „	Nichts Krankhaftes.
4	„	310 „	1 „	Nichts Krankhaftes.
5	„	300 „	1 „	Nichts Krankhaftes.
6	„	485 „	2 Stunden	Nichts Krankhaftes.
7	„	370 „	2 „	Nichts Krankhaftes.

mit Staub aus dem Phthisikersaal des Allerheiligen-Hospitals subkutan geimpft war. Obwohl also Tuberkelbazillen, wie wir sehen, in dem Staub vorhanden waren, ist doch keines von den Tieren, die große Mengen dieses Staubes geatmet haben, erkrankt.

Durch die vorstehenden Versuche kommen wir, glaube ich, zu einer zutreffenderen Anschauung von der Gefahr der Staubinfektion bei der Verbreitung der Tuberkulose, als sie bisher in weiten Kreisen angenommen wurde.

Gewiß ist die Gefahr einer Infektion durch trockenen Staub, wie er sich unter natürlichen Verhältnissen in Phthisikerwohnungen findet, nicht ganz abzuleugnen. Es müssen aber, wenn auf diesem Wege Infektionen innerhalb der Wohnungen zustande kommen sollen, eine Anzahl begünstigender Momente zusammentreffen und dies wird nicht gerade häufig der Fall sein.

Solche Momente sind:

1. Das Sputum muß auf den Fußboden oder ins Taschentuch entleert werden und hier völlig eintrocknen. Daß ein hinreichend vollständiges Austrocknen bei Taschentüchern selten vorkommt, ist von Beninde erwiesen. Auch das vollständige Austrocknen auf dem Fußboden erfolgt nicht immer leicht; namentlich unter ärmlichen Wohnungsverhältnissen ist häufig die Luft zu feucht und zu wenig bewegt. Dauert es längere Zeit bis zum vollen Austrocknen, so wird unterdes die Belichtung schwächend auf die Tuberkelbazillen wirken.

2. Das Sputum muß nach dem Trocknen fein zerrieben werden. Bei dem an Taschentüchern völlig angetrockneten Sputum gelingt dies relativ leicht. Das am Fußboden befindliche Sputum wird aber nur genügend zerkleinert, wenn es sich an reichlich begangenen Stellen befindet; und dies wird sehr selten vorkommen. Wo sich Sputumflecke auf dem Fußboden finden, da ist es gewöhnlich in Ecken und Winkeln oder neben den Speigefäßen, also an Stellen, die selten begangen werden. In jedem Falle wird nur ein relativ kleiner Bruchteil des angetrockneten Sputums so zerkleinert werden, das daraus Splitter in Staubform entstehen (vgl. die Versuche Heymanns).

3. Von den entstandenen Sputumstäubchen geht der größte Teil nur durch mechanische Bewegungen vorübergehend in die Luft über und setzt sich sehr bald wieder zu Boden. Nur während der Einwirkung der mechanischen Bewegung können diese Staubanteile eingeatmet werden; also namentlich während der trockenen Reinigung des Zimmers. Der Anteil der wirklich flug- und schwebefähigen Teilchen ist dagegen stets außerordentlich gering.

4. Trotzdem müssen die in Staubform eingeatmeten Tuberkelbazillen, um Infektion hervorzurufen, in sehr reichlicher Menge vorhanden sein; denn nach meinen Untersuchungen gehen nach der Inhalation von tuberkelbazillenhaltigem Wohnungsstaub im Mittel nur etwa 4 Prozent bis in die feineren Bronchien; und außerdem wirkt aus den S. 526 angeführten Gründen von den hierher gelangten Tuberkelbazillen bei weitem nicht jeder einzelne infektiös, sondern erst mehr als 2000 Bazillen rufen sichere Infektion hervor. Um daher mit trockenem Wohnungsstaub durch Inhalation Tuberkulose zu bewirken, dazu gehören bei Meerschweinchen mindestens 50000 eingeatmete Tuberkelbazillen, beim Menschen vielleicht noch erheblich mehr! Weder bei der Einatmung feinsten schwebenden Staubes, noch bei der gelegentlichen, kurz dauernden Einatmung mechanisch aufgewirbelten gröberen Staubes werden häufiger solche Mengen virulenter Bazillen in der Atemluft vorhanden sein.

Alle diese Momente müssen bei der Einschätzung der Gefahr der Staubinhalation gewürdigt werden. Wenn Cornet darauf verweist, daß das auf den Fußboden gespuckte Sputum gleichsam ein großes Reservoir darstelle, aus dem immer wieder feinste Staubteilchen nachrücken, und wenn er gar annimmt, daß für gewöhnlich die gesamten Bazillen des Auswurfs in trockenen Staub übergehen und eingeatmet werden können, so ist das eine ganz enorme Überschätzung dieses Infektionsmodus. Cornet will durch solche Hinweise die Überlegenheit der Staubinfektion über die Tröpfcheninfektion erläutern. Aber ganz mit Unrecht! Man braucht nur zu erwägen, daß gerade bei der Tröpfcheninfektion der hustende Phthisiker ein wirklich unerschöpfliches Reservoir darstellt, aus welchem fortgesetzt Tröpfchen in infektiöser Form in die Luft übergehen. Und hier werden die Tröpfchen von den erkrankten Stellen des einen Menschen ohne jede Beeinflussung durch die Umgebung direkt in die Atemluft anderer Menschen gebracht; ferner dringt ein volles Drittel der Tröpfchen bis in die feinsten Bronchien vor, und fast jeder einzelne dorthin gelangte Tuberkelbacillus vermag Infektion zu bewirken. Bei der Tröpfcheninhalation kommen also alle jene Momente in Wegfall, welche das ausgeworfene Sputum erst vorbereiten und in feinen trockenen Staub überführen müssen, ehe der relativ weite und indirekte Weg bis in die Atemluft anderer Menschen und zu den Ansiedlungsstätten der Tuberkelbazillen von den Sputumbazillen zurückgelegt werden kann.

Eigentlich sind es nur die kurzen Zeiten der trockenen Zimmerreinigung, die in etwas ausgiebigerer Weise die Gefahr der Weiterverbreitung für die Bewohner eines Zimmers mit sich bringen; und diese Gefahr kann durch die Art der Reinigung, durch gleichzeitige Zuglüftung, durch tunlichstes zeitweises Verlassen des Zimmers seitens der Bewohner usw.

erheblich herabgemindert werden, Maßnahmen, die in den allermeisten Fällen in praxi schon jetzt getroffen werden.

Zu erwägen ist noch die Möglichkeit, ob nicht bei der Staubinhalation der Anteil, welcher in Mund, Nase, Rachen usw. zurückbleibt, bzw. in den Darm übergeht, von hier aus in den Körper eindringen kann. Die Verhältnisse liegen bei der Staubinhalation insofern eben anders, wie bei der Tröpfcheninfektion, als der Anteil, der in den ersten Wegen haften bleibt, bzw. durch Flimmerbewegung und Hustenstöße dahin zurückkommt, viel erheblicher ist, als bei den Tröpfchen; und auch gröbere, zahlreiche Tuberkelbazillen enthaltende Staubteilchen können nach mechanischer Aufwirbelung bis in die oberen Eingangswege geführt werden, während sie für einen Transport bis zu den feineren Bronchien nicht flugfähig genug sind. Ich halte es recht wohl für möglich, daß durch inhalierten Staub gelegentlich Halsdrüsen- oder Cervicaldrüseninfektionen zustande kommen, deren weiterer Verlauf und Ausgang dann außerordentlich verschieden sein kann. Für Infektion vom Darm aus ist dagegen selbst der verschluckte relativ große Anteil von tuberkelbazillenhaltigen Stäubchen für gewöhnlich noch als ungenügende Dosis anzusehen.