

[Aus dem hygienischen Institut der Universität Breslau.]

## Ueber Luftstaub-Infection.

Ein Beitrag zum Studium der Infectionswege.

Von

Privatdocent Dr. **Max Neisser**  
in Breslau.

---

Wer sich mit der Epidemiologie der verschiedenen Infectionskrankheiten beschäftigt, wird mit den Erklärungsversuchen schliesslich stets bei dem „persönlichen Schutz“ angelangen, bei jener Summe von noch meist unbekanntem, häufig rein äusserlichen und schwankenden Momenten, welche es verhindert, dass aus jedem Inficirten ein Infections-Kranker wird. Und es ist unzweifelhaft, dass der „persönliche Schutz“ der wichtigste Factor für die Verbreitung einer Infectionskrankheit ist. Eine schwere Pockenepidemie ist in den Ländern mit Zwangsimpfung unmöglich geworden, wenn auch das Contagium noch so sehr verbreitet würde.

Aber auch die Lyssa ist bei uns verschwunden, trotz der augenscheinlich so weit verbreiteten Disposition für diese Erkrankung. Und das zeigt den zweiten Weg, wie einer Seuche begegnet werden kann, durch die Verhütung der Ausstreuung des Contagiums. So lange wir im einzelnen Falle über die Grösse des „persönlichen Schutzes“ im Unklaren sind, so lange wir die Chance der Infectionserkrankung nicht abzuschätzen vermögen, so lange ist es unsere Aufgabe, die Gesammtheit möglichst vor dem Inficirtwerden zu schützen. Und das Fundament für eine rationelle Prophylaxe ist die Kenntniss der Verbreitungsweise der einzelnen Infectionserreger. Für dieses Studium ist es gleichgültig, dass die Kenntnisse über den „persönlichen Schutz“ noch so mangelhafte sind. Das ist ein Factor, der für alle Verbreitungsweisen der nämliche ist, der

gleichsam ein constanter Fehler ist. Man kann die Uebertragungswege studiren, ohne Rücksicht darauf, ob sie zu einem empfänglichen oder einem unempfindlichen Individuum führen.

Die bekannten Infectionserreger verlassen den erkrankten Menschen in flüssiger Umhüllung, als Sputum, Dejection, Eiter u. s. w., und zwar erfolgt die Ausstreuung dieses Materiales in Form von grösseren oder kleineren Partikeln, deren kleinste die beim Husten, Niesen und beim Verspritzen von Flüssigkeiten entstehenden Tröpfchen sind. Auf directem und indirectem Wege können von neuem Infectionen erzeugt werden. Für die grösseren, sinnlich wahrnehmbaren Partikel wird der directe Weg der im allgemeinen seltener und, weil leicht vermeidbar, hygienisch weniger in Betracht kommende sein. Während er z. B. bei der Gonorrhoe den fast ausschliesslichen Uebertragungsmodus darstellt, ist er z. B. bei der Diphtherie ausserordentlich selten. Gleichwohl kommt er auch hier vor, wie die Augendiphtherie bei Aerzten beweist, welche einem Hustenanfall während der Tracheotomie ausgesetzt waren.

Diese Art der directen Infection mit grösseren Partikeln ist insofern hygienisch von nicht sehr grosser Bedeutung, als sie zur Voraussetzung den intimsten Verkehr mit dem Kranken hat.

Dies war aber der bisher allein bekannte Weg der directen Uebertragung. Neuerdings hat nun Flügge<sup>1</sup> nachgewiesen, dass auch jene kleinen, sinnlich nicht wahrnehmbaren Partikel, wie sie vornehmlich beim Husten, Niesen u. s. w. entstehen, die Möglichkeit einer directen Infection darbieten. Und da die Ausstreuung dieses Materiales dabei eine grosse ist und unzweifelhaft sich viele Meter weit erstreckt, so ist dieser Infectionsmodus ein gefährlicher und weit verbreiteter. Erfolgt also bei einer Krankheit ein besonders reichliches Ausstreuen der Erreger auf diese Weise (z. B. durch häufiges Husten, Niesen) und ist gleichzeitig die Disposition für diese Erkrankung eine ziemlich allgemeine, so werden derartige Epidemien in Kürze einen enormen Umfang annehmen müssen. Auf diese Weise kann man sich Influenzaepidemien zwanglos erklären.

Die directe Uebertragung des Infectionserregers in die für diesen Erreger nothwendige Eintrittspforte bietet augenscheinlich für eine neue Infection grosse Chancen. Es ist aber diese Gefahr zeitlich und örtlich an die Person des Infectionsträgers gebunden; denn auch die feinsten Tröpfchen sind in wenigen Stunden auf der Luft verschwunden. Und dieser Umstand ist für die Gesammtheit insofern von Wichtigkeit, als die directe Infection von einem Infections-Kranken aus nur verhältnissmässig wenige, mit der Gefahr im allgemeinen bekannte Personen treffen

<sup>1</sup> *Diese Zeitschrift*. 1897. Bd. XXV. S. 179.

wird, eine Ausstreuung infectiösen Materiales von einem gesunden Infectionsträger aus aber nur relativ selten und in geringem Maasse geschehen wird.

Anders liegen die Chancen bei der indirecten Uebertragung. Sie ist insofern ungleich weniger sicher, als sich mit jeder Station, die in den Weg eines Infectionserregers von einem Herde zu einer neuen Ansiedelung eingeschaltet ist, die Anzahl der möglichen Combinationen mehrt, von denen nur eine Bedeutung hat, diejenige nämlich, dass der lebende Infectionserreger an die zur Infection geeignete Stelle gelangt. Bei jedem dieser Zwischenglieder wiederholt und vervielfältigt sich die Möglichkeit des Unterganges des Infectionserregers durch Austrocknung, Mangel an Nährmaterial u. s. w.

Aber eine andere Gefahr ist mit der indirecten Uebertragung verknüpft, diejenige der zeitlich und örtlich unbeschränkten Verschleppung, häufig genug in einer Form, welche die Herkunft von einem Inficirten nicht mehr erkennen lässt.

Zu der indirecten Uebertragung gehört auch die bisher noch wenig untersuchte Infection durch den Luftstaub, welche das Thema dieser Arbeit darstellt. Die Uebertragung ist hierbei so vorzustellen, dass ausgestreutes Infectionsmaterial antrocknet, zu Staub zerfällt und durch Luftbewegung an die nothwendige Eintrittspforte gelangt. Da somit auf dem Wege des Infectionserregers nur eine Station eingeschaltet zu sein braucht, so wird die Chance dieses Modus auf gleicher Stufe stehen etwa mit der von inficirten Nahrungsmitteln, Instrumenten u. s. w.

Eine besondere Gefahr bietet dieser Modus noch dadurch, dass dabei eine sehr reichliche Verteilung des Infectionsateriales stattfindet, dass dies in einer sinnlich nicht wahrnehmbaren Form geschieht, und dass eine Uebertragung auch ohne das Zwischenglied des menschlichen Verkehrs, allein durch Luftbewegung möglich ist. Um so mehr erscheint es gerechtfertigt, auf diese Frage einzugehen.

Die erste Vorbedingung für das Zustandekommen einer derartigen Infection ist das Antrocknen grösserer oder kleinerer infectiöser Partikel an irgend welchen Gegenständen. Durch Verwitterung und unter Mitwirkung mechanischer Momente, wie Zerreiben, Klopfen, Bürsten u. s. w. muss dieses Material in Staubform verwandelt werden. Allerdings stellt man sich das gewöhnlich leichter vor, als es der Fall ist. Es hängt das sehr von der Beschaffenheit des Materiales ab, und die Vorstellung, als ob jedes eintrocknende Sputum in kurzer Zeit in Staubform überginge, ist sicherlich nicht richtig. Auf diese Frage soll indessen später noch eingegangen werden.

Des Weiteren ist ein Aufwirbeln des entstandenen Staubes durch Bewegung oder dergleichen nöthig; denn wir wissen jetzt, dass zum Aufwirbeln auch eines feinen Staubes Luftströme von mehreren Centimetern Geschwindigkeit erforderlich sind, wie sie wohl beim Gehen, Fegen u. s. w. entstehen.

Der einmal aufgewirbelte Staub braucht dann nur noch durch Luftbewegung an die zur Infection geeignete Stelle transportirt zu werden. Und für diesen Transport kommen die in einem Zimmer stets vorhandenen Luftströme sehr wohl in Betracht. Man braucht sich bloss der Sonnenstäubchen zu erinnern, um einzusehen, wie lange einmal aufgewirbeltér Staub schwebend erhalten und wie weit er so transportirt werden kann. Bei directen Versuchen im hiesigen Institut<sup>1</sup> ist Staub noch bei Geschwindigkeiten von 0.3 bis 0.4 mm pro Secunde eine gewisse Strecke weit senkrecht transportirt worden.

Es mag auffallen, dass bisher nur die Luftbewegungen im Zimmer und nicht die ungleich stärkeren im Freien in Betracht gezogen worden sind. Es ist indessen schon von Flügge betont worden, dass eine derartige Infection im Freien als ein „hygienisches Curiosum“ anzusehen ist. Man vergegenwärtige sich nur, welcher Zufall es wäre, wenn ein im Freien aufgewirbelter infectiöser Staub zu einer geeigneten Infectionsportfe gelangte. Denn selbst angenommen, ein Luftstrom transportire einen Infectionserreger, ohne ihn erst in Häusern, Bäumen u. s. w. abzusetzen, — Zwischenglieder, deren jedes einen zerstörenden Einfluss durch die Concurrrenz anderer Bakterien, durch Sonnenbestrahlung u. s. w. ausübt — direct auf einen Menschen zu, so wird selbst eine gering abweichende Richtung des Luftstromes genügen, um das Eindringen z. B. in Nase oder Mund zu verhindern. Hat doch selbst bei Windstille die Luft noch eine Bewegung von etwa 1 m pro Secunde. Und bei den gewöhnlich im Freien herrschenden Luftströmen hat der im Vergleich dazu schwache Inspirationsstrom nicht die Kraft, Staubpartikel aus ihrer Richtung zu bringen. Eine grössere Oberfläche zur Ablagerung des Staubes bieten die Kleider. Aber die Kleidung müsste schon sehr reichlich mit Infectionserregern bedeckt sein, wenn eine Chance dafür sein sollte, dass von der Kleidung aus die Infectionskeime zur Eintrittspforte gelangen.

Es ist deshalb durchaus berechtigt, wenn man die Uebertragung von Infectionserregern durch den Luftstaub im Freien als ausserhalb der für die Gesamtheit in Betracht kommenden Gefahren liegend ansieht.

Beschränkt man somit die Fragestellung auf die Uebertragung durch den in Zimmern schwebenden Luftstaub, so scheidet man damit auch

<sup>1</sup> A. a. O.

jene grossen Geschwindigkeiten, wie sie im Freien vorkommen, aus und hat es nur noch mit relativ schwachen Luftströmungen zu thun.

Das aber ist ein Punkt, der unseres Erachtens bei den bisherigen hierauf bezüglichen Untersuchungen nicht genügend berücksichtigt worden ist. Es liegen über diese Frage verschiedene Versuchsreihen<sup>1</sup> vor.

Bei der einen hat man versucht, direct aus der Luft pathogene Keime aufzufangen. Allein da man diese Versuche gewöhnlich in Krankenzimmern angestellt hat, in denen Kranke sich befanden, so hat man hierbei auch mit jenen kleinsten Tröpfchen zu rechnen, von denen schon mehrfach die Rede war. In anderen Fällen, in denen man die Luft leerer Operationsäle untersucht hat, hat man häufig Staphylokokken, vereinzelt auch Streptokokken gefunden. Da indessen die Identificirung der pathogenen Streptokokken und Staphylokokken auch heute noch nicht als sicher anzusehen ist, so sind diese Befunde mit einer gewissen Reserve aufzunehmen.

Auch bei einer zweiten Gruppe von Versuchen sind die Luftströmungen ausser Betracht geblieben, indem man die Infectionserreger auf Staub verschiedener Sorte antrocknen liess und den Staub nach einer gewissen Zeit natürlicher oder künstlicher Trocknung auf die Lebensfähigkeit der betreffenden Bakterien untersuchte. Diese Untersuchungen sind zur Lösung jener Frage geeignet, in wie weit überhaupt inficirter Staub noch gefährlich sein kann (Contact), nicht aber zur Klärung des in Rede stehenden Themas.

In einer ferneren Reihe von Versuchen hat man die Anordnung getroffen, Staub, den man mit Bakterien inficirt hatte, durch ein Gebläse in Nährlösungen überzuführen und so auf die Lebensfähigkeit der betreffenden Bakterienart zu untersuchen. Aber hierbei war insofern eine wesentliche Abweichung von den natürlichen Bedingungen gesetzt, als dabei Luftströme von einer Stärke angewendet wurden, wie sie wohl im Freien, nicht aber im Zimmer vorkommen. Nur auf die letzteren ist aber, wie erwähnt, Rücksicht zu nehmen.

---

<sup>1</sup> Die vollständige Litteratur über dieses Thema in kritischer Form enthält die unter Prof. Kruse's Leitung von Germano angefertigte Arbeit: „Die Uebertragung von Infectionskrankheiten durch die Luft.“ *Diese Zeitschrift*. Bd. XXIV. S. 403. — Bd. XXV. S. 439. — Bd. XXVI. S. 66 u. 273. Dem Litteraturverzeichniss wäre nur noch eine neuere Arbeit von Honsell: „Zur Frage der Choleraübertragung durch die Luft.“ *Arbeiten aus dem pathol. Institut zu Tübingen*, 1896, Bd. II, Hft. 2, hinzuzufügen. So wichtig und interessant die Germano'sche Arbeit ist, so löst sie, wie aus dem Folgenden ersichtlich, nur die Frage der Staub-Contactinfection, nicht aber die der Staub-Luftinfection. Es erklären sich daraus auch die differenten Schlüsse über die Verstäubbarkeit der einzelnen Bakterienarten.

Bei diesen verschiedenen Staubversuchen hat man den Staub trocken werden lassen, entweder „völlig trocken“ oder „lufttrocken“, und dann weiter verwendet. Aber gerade dieser Punkt bedarf der Aufklärung. Denn wir wissen nicht, wann ein Staub „völlig trocken“ ist und wir wissen ferner nicht, ob ein „lufttrockener“ Staub verstäubbar ist. Und nur auf die Verstäubbarkeit kommt es an. Mag ein Staub noch so trocken oder feucht sein, — wenn er unter unseren Bedingungen verstäubbar ist, so kommt er für unsere Frage in Betracht.

Die Verstäubbarkeit eines Staubes, der aus gleichschweren, gleichgrossen und gleichgestalteten Partikeln besteht, über eine gewisse Strecke hinweg, hängt nur ab vom Feuchtigkeitsgehalt des Staubes, bezw. von der Stärke des Luftstromes. So ist auch ein relativ feuchter Staub durch einen genügend starken Luftstrom eine Strecke weit transportirbar, und es entspricht jede Luftstromstärke einem Maximum des Feuchtigkeitsgrades, das von dem Staub nicht überschritten werden darf, wenn dieser Staub von diesem Luftstrom noch transportirbar sein soll. Ist er feuchter, so bilden sich, gleiche Vertheilung der Feuchtigkeit vorausgesetzt, Conglomerate, welche von diesem Luftstrom eben nicht mehr über die gegebene Strecke transportirt werden können. Dieses Maximum des Feuchtigkeitsgrades eines Staubes für einen Luftstrom von gegebener Stärke wird sich nur schwer direct bestimmen lassen, gleichwohl müssen wir es aber zum Zwecke des Experimentes herzustellen suchen. Denn nur, wenn der Staub dieses Maximum des Feuchtigkeitsgrades besitzt, wenn er also gerade so feucht ist, dass ihn Luftströme von gegebener Stärke über eine gewisse Strecke noch zu transportiren vermögen, — nur dann bietet er für die Conservirung der mit ihm transportirten Bakterien die günstigste Chance. Und diese werden wir natürlich herzustellen suchen müssen. Zeigt sich dann z. B., dass selbst dieser maximal feuchte Staub Bakterien in lebendem Zustande unter den gegebenen Bedingungen nicht mehr zu transportiren vermag, so gilt das Gleiche erst recht auch für Staub, der trockener ist.

Es war bisher eine gleichmässige Vertheilung der Feuchtigkeit im Staube vorausgesetzt worden; das ist aber thatsächlich nicht zu erreichen. Es bilden sich vielmehr bei der Mischung von Staub und Wasser, auch beim gründlichsten Durchrühren, die verschiedenartigsten Conglomerate. Es bleiben Theile scheinbar ganz trocken, während andererseits grössere und kleinere Conglomerate entstehen. Schütteln wir jetzt diesen Staub auf und lassen wir auf ihn einen Luftstrom von gegebener Stärke einwirken, so kann dreierlei geschehen: War der Staub zu feucht, so wurde gar nichts davon transportirt, war er zu trocken, so wurde alles übergeführt. Lag der Feuchtigkeitsgehalt in der Mitte dieser Extreme, so wurde ein Theil des Staubes über die gegebene Strecke transportirt, ein

anderer, zu feuchter, wurde nicht so weit geführt oder konnte gar nicht bewegt werden. Der übergeführte Theil besteht dann aus Partikeln mit dem verschiedensten Feuchtigkeitsgehalt bis zu jenem, den wir oben als den maximalen bezeichnet haben. Beide Theile des Staubes, der übergeführte und der nicht mehr übergeführte, werden sich äusserlich nicht wesentlich unterscheiden, sie sind aber möglicher Weise völlig verschieden in ihrem Conservirungsvermögen gegenüber Bakterien. Es ist sehr wohl möglich, dass in dem restirenden, weil zu feuchten Theile Bakterien sich noch erhalten können, deren Leben in dem transportirten, also trockeneren Theile unmöglich ist. Ein solcher Staub würde dann noch durch Contact infectiös sein, aber nicht mehr durch seine schwebenden Theile.

Nimmt man hinzu, dass in getrocknetem Staube ebenfalls Conglomerate verschiedenster Feuchtigkeit vorhanden sind, so ergiebt sich, dass man, wenn die Frage der Staubluftinfection studirt werden soll, den Staub erst in jene 2 Theile zerlegen muss, in den unter gegebenen Bedingungen transportirbaren und den dann nicht mehr transportirbaren.

Der letzte Punkt, welche Luftstromstärken bei diesen Versuchen zu berücksichtigen sind, ist an der Hand der mehrfach erwähnten Arbeit von Flügge leicht zu beantworten. Der fühlbare „Zug“ hat danach (bei etwa 15° C.) eine Geschwindigkeit von ungefähr 10<sup>cm</sup> pro Secunde. Aber derartig starke Ströme kommen nur örtlich und zeitlich beschränkt vor. Diejenigen Luftströme, denen der Zimmerstaub sein Schweben und seinen Transport verdankt, haben eine ungleich geringere Geschwindigkeit und betragen etwa 1 bis 4<sup>mm</sup> pro Secunde. Das sind also die Geschwindigkeiten, mit denen in unserem Falle zu experimentiren ist, und aus diesem Grunde sind die mit Gebläsen angestellten Versuche, in denen ungleich grössere Geschwindigkeiten verwendet wurden, nicht beweiskräftig.

Nach dem bisher Gesagten lässt sich der Plan für unsere Versuche leicht präcisiren. Es war ein möglichst feiner Staub zu sterilisiren, zu trocknen, mit einer Aufschwemmung der zu untersuchenden Bakterienart zu inficiren und gründlich zu verreiben. Dieser Staub war alsdann aufzuschütteln und nun eine Strecke weit (wir wählten 80<sup>cm</sup> bis 1<sup>m</sup>) entgegen seiner Schwere durch einen Luftstrom von der erwähnten Geschwindigkeit fortzuführen. Der Feuchtigkeitsgrad des Staubes war so zu wählen, dass der grösste Theil des Staubes überging, dass aber ein Rest übrig blieb, der nicht etwa aus an sich gröberen Elementen zusammengesetzt war, sondern nur durch die Feuchtigkeit entstandene Conglomerate jener feinen Elemente enthielt. Die Gleichmässigkeit des Materiales war durch die Versuchsanordnung zu verwirklichen. Danach musste er auf-

gefangen und auf die Lebensfähigkeit der betreffenden Bakterien untersucht werden. Bakterienarten, welche diesen Weg in lebendem Zustande nicht mehr passiren konnten, waren dann als „nicht verstäubbar“ in dem entwickelten Sinne anzusprechen.

### Vorbereitung des Staubes.

Aktenstaub (aus hiesigen Gerichten) wurde im Siebsatz geschüttelt, die feinsten Elemente wurden mit einem Blasebalg durch eine Reihe von doppelt tubulirten Flaschen hindurch in eine lange, weite, mit grossem Wattebausch verschlossene Röhre hineingetrieben. Nur das in dieser Röhre angesammelte Material wurde verwendet, dessen Feinheit sich darin zeigte, dass es allmählich den 10<sup>cm</sup> langen Wattebausch völlig durchdrang. Dieser Staub wurde in kleinen Glasfläschchen 4 Stunden lang im Dampf sterilisirt und darauf etwa 4 bis 6 Stunden bei 80 bis 100° im Trockenofen getrocknet. Er wurde dann unter Zerreiben mit sterilem Glasstabe in eine trockene, sterilisirte, etwa 20<sup>cm</sup> hohe, schmale Flasche mit weitem Hals gegeben und zwar in der Menge von etwa 30<sup>ccm</sup>.

Die Infection dieses Staubes geschah mit einer concentrirten wässrigen Aufschwemmung einer Agarcultur (etwa 2<sup>ccm</sup> steriles Wasser auf ein völlig bewachsenes 24stündiges Agarröhrchen) und zwar waren für 30<sup>ccm</sup> Staub etwa 20 bis 30 Tropfen von der Aufschwemmung erforderlich. Indessen lassen sich hierfür Zahlen nicht angeben, es gehört dazu eine gewisse Uebung. Man muss, aus den oben erörterten Gründen, möglichst viel zusetzen, darf aber die Verstäubbarkeit des Staubes dadurch nicht zu sehr herabsetzen. Häufig genügen 1 oder 2 Tropfen, welche über das Maass hinzugefügt werden, um eine Verstäubbarkeit unmöglich zu machen.

Zum Verreiben des Staubes mit der Aufschwemmung wurde ein steriler, starker Glasstab verwendet, der in die Flasche kam und sie an Länge um etwa 6<sup>cm</sup> überragte. Glasstab und Flaschenhals wurden dann überzogen mit einem kleinen Gummieisbeutel (sogen. Ohreisbeutel), der am Flaschenhalse völlig dicht schloss und so ein gefahrloses Verreiben ermöglichte. Die Desinfection des Gummibeutels geschah mit Sublimat, das mit sterilem Wasser entfernt wurde. Darauf folgte Trocknen des Beutels aussen und (durch Umwenden) innen mittels eines Tuches und bei ganz gelinder Wärme im Trockenschrank.

Das Verreiben des Staubes mit der Aufschwemmung geschah möglichst ausgiebig und dauerte etwa 5 bis 15 Minuten. Auch hierbei muss man mit Vorsicht verfahren, wenn man nicht bei manchen Arten schon durch zu langes Verreiben ein Absterben der betreffenden Bakterienart erleben will.

Auf das Verreiben folgte vorsichtige Entfernung des Gummibeutels und des Glasstabes, Abwischen des inficirten Flaschenrandes mit sublimatgetränktem Wattebausch und Aufsetzen eines doppelt durchbohrten, mit zwei verschieden langen Glasröhrchen versehenen, völlig trockenen Gummistopfens. Die Flasche mit dem so vorbereiteten Staube wurde nun angesetzt an den eigentlichen

### Verstäubungsapparat.

Das Princip dieses Apparates bestand darin, dass durch das aus einem Wasserthurm ausfließende Wasser — dessen Menge an dem geaichten Wasserstandsrohre abzulesen war — ein constanter Aspirationsstrom hergestellt wurde. Die Aspiration wurde gewählt, damit bei etwa eintretenden Defecten in Schläuchen u. s. w. der infectiöse Staub nicht, wie es bei der Pulsion der Fall gewesen wäre, in die Umgebung gelangte.

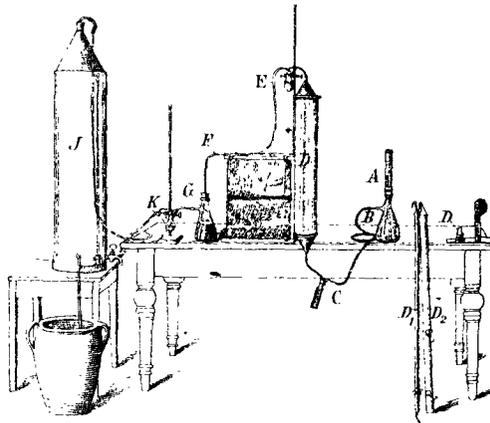


Fig. 1.

Der Weg der aspirirten Luft war nun folgender. Sie trat ein bei *A* durch ein 20<sup>cm</sup> hohes steriles Wattefilter von 5<sup>cm</sup> Durchmesser (zur Abhaltung der Luftkeime eingeschaltet), gelangte darauf durch die sterile Flasche und Schlauchverbindung *B* in die Flasche *C*, welche den inficirten Staub enthielt. Der in *C* befindliche Staub wurde durch beständiges kräftiges Schütteln aufgewirbelt und durch den durchtretenden Luftstrom in den eigentlichen Verstäubungsraum *D* fortgeführt. Es war dies eine senkrecht stehende, etwa 80<sup>cm</sup> lange Blechröhre von bekanntem Durchmesser, mit deren unterem Ende die Staubflasche *C*, mit deren oberem Ende das Auffangekölbchen *E* mittels Schläuchen verbunden war. Das

kleine sterile Kölbchen *E* war mit etwa 20<sup>ccm</sup> sterilen Wassers beschickt und mit doppelt durchbohrten, mit Glasröhrchen versehenen Gummistopfen verschlossen, derart, dass der eintretende Luftstrom und mit ihm der transportirte Staub durch das Wasser hindurch trat. Der Staub wurde hier zum weitaus grössten Theile deponirt, die Luft perlte hindurch und gelangte durch den Verbindungsschlauch *F* in den Kolben *G* mit starker Salpetersäure, die bestimmt war, etwa mitgerissene Keime zu vernichten. Nach dem Passiren einer letzten Vorlage *H*, welche zur Neutralisirung etwa mitgerissener Salpetersäure dünne Kalilauge enthielt, gelangte der Luftstrom in den blechernen Wasserthurm *J*, der etwa 70 Liter Wasser fasste und durch einen grossen Messinghahn eine Abstufung der ausfliessenden Wassermenge ermöglichte. Um die Geschwindigkeiten in dem Verstäubungsraum *D* möglichst variiren zu können, wurde nicht nur die Menge des ausfliessenden Wassers geändert, sondern es wurden auch als *D* Blechröhren von sehr verschiedenem, bekanntem Durchmesser verwendet, deren grösste einen Durchmesser von 12<sup>cm</sup> hatte, während der Durchmesser der engsten Röhre 2<sup>cm</sup> und derjenige der mittleren 4<sup>cm</sup> betrug, s. Fig. 1 *D*<sub>1</sub> *D*<sub>2</sub>. War so die Menge des in der Zeiteinheit ausfliessenden Wassers und der Querschnitt von *D* bekannt, so war damit nach der Formel:

$$\text{Geschwindigkeit des Luftstromes} = \frac{\text{Volumen des pro Sec. ausfliessend. Wassers}}{\text{Querschnitt der Röhre } D}$$

auch die Geschwindigkeit des Luftstromes in der Röhre *D* bekannt. Auf diese Weise liess sich die Geschwindigkeit des Luftstromes in *D* von 1<sup>mm</sup> bis 400<sup>mm</sup> pro Secunde variiren. Die Desinfection der Röhre *D* geschah entweder in einem eigens dazu hergestellten hohen Dampftopfe oder — und das war die Regel — durch langes Schütteln mit 1 promill. Sublimat, zu welchem Zwecke die Röhren, um das Entweichen der Luft beim Eingiessen zu ermöglichen, ein seitliches, verschliessbares kleines Ansatzrohr besaßen. Das Sublimat wurde durch grössere Mengen Alkohol entfernt, der Alkohol durch Aether, dessen Dämpfe durch die untere Oeffnung von *D* abgesogen wurden.

### Verlauf der Versuche.

Die Versuche wurden derart angestellt, dass der inficirte Staub in *C* so lange aufgeschüttelt und verstäubt wurde, bis sich das Wasser im Kölbchen *E* durch den einströmenden Staub intensiv schwarz färbte. Das dauerte bei geringen Geschwindigkeiten manchmal 20 bis 25 Minuten, bei grösseren nur wenige Minuten. Darauf wurde die Verstäubung unterbrochen und Kölbchen *E* und Staubflasche *C* auf das Vorhandensein der betreffenden

Bakterienart untersucht. Wurde dieselbe Staubprobe zu mehreren Versuchen (höchstens drei) mit verschiedenen Geschwindigkeiten benutzt, so wurde die kleinste Geschwindigkeit zuerst, die grösste zuletzt angewendet.

Der Staub in der Staubflasche *C* wurde einfach derart untersucht, dass einige Oesen in das betreffende Nährmedium (Agar, Gelatine) übertragen wurden. Es dienten diese Proben zugleich als Controlproben, welche erweisen sollten, dass in dem betreffenden Staube der lebende Infections-erreger wirklich vorhanden war und dass er ferner durch die Staubpartikel in seinem Wachsthum auf der Platte nicht behindert wurde.

Der Inhalt des Kölbchens *E* wurde gewöhnlich vollständig zum Platten-giessen (5 bis 10 Platten) verwendet, und nur, wenn zu grosse Staubmassen den Inhalt von *E* in einen dünnen Brei verwandelt hatten, begnügte ich mich mit einem Theile der Masse. Die Aussaat geschah auf Platten, um eine gewisse quantitative Vergleichung zu ermöglichen. Es zeigte sich nämlich, dass bei geringen Geschwindigkeiten manchmal ganz vereinzelt Keime lebend in die Vorlage mit übergangen, wohl auch dadurch, dass die Geschwindigkeiten nicht immer präzise eingehalten werden konnten, sondern manchmal durch augenblickliche Verstopfungen und nachfolgende Beseitigung des Hindernisses gewissen Schwankungen unterlagen. Wären nun — und das geschah einige Male — diese Keime statt auf Platten in Bouillon verpflanzt worden, so hätte man jedes Urtheil verloren. Denn erst aus dem Vergleich dieser winzigen Anzahl von Keimen mit jener enormen Zahl, die bei wirklich verstäubbaren Arten aufgefangen wird, und die sich auch bei derselben Art zeigt, sofern grössere Geschwindigkeiten angewendet werden, erst aus diesem Vergleich gewinnt man das Urtheil, dass diese wenigen Keime (4 bis 6 von Millionen zur Verstäubung verwendeten) als zufällige Verunreinigungen anzusehen sind.

Zunächst wurden einige Vorversuche mit nicht-pathogenen Arten angestellt.

I. Versuch mit einem feinen Talkpulver, das mit Heubacillen-Sporen reichlich versetzt und in diesem Zustande seit Jahren im Institut aufbewahrt war.

| Geschwindigkeit in Millimetern pro Secunde . | Geschwindigkeit in Centimetern pro Secunde | Dauer der Verstäubung | Art der Untersuchung    | Resultat      |
|--|--|-----------------------|-------------------------|---------------|
| 1.9 + <sup>1</sup>                           | —  | 30 Minuten            | Gelatine- u. Agarplatt. | dicht übersät |
| —  | 5.1 +                                      | 5 „                   | „                       | „             |

<sup>1</sup> Das Zeichen + hinter der Zahl bedeutet den positiven Ausfall des Versuches.  
 „ — „ „ „ negativen „

Wie zu erwarten war, sind demnach diese leichten Sporen, an geeignetem Material angetrocknet, noch durch schwächste Luftströme ( $1.9 \text{ mm}$  pro Secunde) in grossen Mengen verstäubbar. Man sieht daraus, wie gefährlich für unsere bakteriologischen Arbeiten der schwebende Zimmerstaub werden kann. Manche scheinbar unerklärliche Verunreinigung findet vielleicht so ihre Erklärung. Zugleich zeigt der Versuch, dass unsere ganze Versuchsanordnung nicht an etwaigen negativen Resultaten Schuld sein kann.

Ein anderes Verhalten zeigte der *Bacillus prodigiosus*.

## II. Versuch mit *Prodigiosus*.

Es wurden 1 bis 3 tägige Culturen aufgeschwemmt und mit sterilem Staub verrieben, wie früher beschrieben.

### a.

| Geschwindigkeit in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit in Centimetern pro Secunde | Dauer der Verstäubung | Art der Untersuchung      | Resultat       | Bemerkungen   |
|--|--|-----------------------|---------------------------|----------------|---|
|  | 22 +                                       | 8 Minuten             | Gelatine- und Agarplatten | Sehr reichlich | Staub nach d. Versuch aus d. Verstäubungsflasche entnommen. |
|  | 47 +                                       | 5 „                   | „                         | „              | +   |
|  | 9.6 +                                      | 5 „                   | „                         | „              |   |
|  | 5—6 +                                      | 8 „                   | „                         | „              |   |
|  | 4.3 +                                      | 5 „                   | „                         | „              |   |
| 1.6 —                                      |  | 30 „                  | 6 Platten                 | 0              | +   |
| 1.5 —                                      |  | 30 „                  | 7 „                       | 0              | +   |

Diese Versuche bedürfen kaum eines Commentars. Sie zeigen in einwandfreier Weise, dass der *Bacillus prodigiosus* in Staubform durch Luftströme von mehr als  $4 \text{ cm}$  pro Secunde Geschwindigkeit verstäubbar ist. Es geht ferner aus ihnen hervor, dass der *Bacillus* durch jene schwache ( $1.5:1.6 \text{ mm}$ ) Luftströme nicht lebendig über eine gewisse Strecke transportirt werden kann.<sup>1</sup> Die Untersuchung des Staubes in der Staubflasche

<sup>1</sup> Frühere Versuche in einem Zimmer des hiesigen Instituts hatten gezeigt, dass *Prodigiosus* in Staubform weit verbreitet werden kann. Hierbei sind, abgesehen von der grossen Menge des entwickelten feinsten Staubes, die für den Akt des Verstäubens nothwendigen Luftströme vermuthlich nicht ohne Einfluss gewesen.

nach dem Versuche beweist, dass in diesem massenhaft lebende Prodigiosuskeime vorhanden waren, dass also das Fehlen der Keime in dem Auffangkölbchen nicht darauf zurückzuführen ist, dass ein Staub verstäubt wurde, der gar keine lebenden Prodigiosuskeime enthielt.

Es seien hier einige weitere Versuche mit Prodigiosus mitgetheilt.

b.

| Geschwindigkeit in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit in Centimetern pro Secunde | Dauer der Verstäubung | Art der Untersuchung      | Resultat             | Bemerkungen     |
|--|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|
| 1-2  |  | 30 Minuten            | Gelatine- und Agarplatten | 1 Colonie            |                 |
| 1.4  |  | 30 „                  | „                         | im Ganzen 5 Colonien | Staub nachher + |

Diese beiden Versuche scheinen im Widerspruch mit den vorher berichteten zu stehen; denn einzelne Prodigiosuskeime sind noch bei 1.4<sup>mm</sup> lebendig angekommen. Und doch kann man deshalb von einer leichten Verstäubbarkeit des Prodigiosus bei dieser Geschwindigkeit nicht reden. Denn von den vielen Milliarden von Keimen, die eingesät waren, ist ein so geringer Bruchtheil nur lebend verstäubt worden, dass dieser Bruchtheil, wenn man die hygienische Nutzanwendung in Betracht zieht, gleich Null erscheint. Es ist sogar nicht völlig ausgeschlossen, dass diese wenigen Keime in Folge von Druckschwankungen während des Versuches, wie sie vorkommen, mit fortgerissen worden sind.

Einige weitere Versuche mit Prodigiosus seien noch angeführt, in denen die Auffangflüssigkeit nicht zu Platten verarbeitet wurde, sondern zur Anreicherung erst in eine Anzahl Bouillonröhrchen vertheilt und nach 48 stündigem Wachstum auf Agarplatten übertragen wurde.

| Geschwindigkeit in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit in Centimetern pro Secunde | Dauer der Verstäubung | Art der Untersuchung                                | Resultat | Bemerkungen                 |
|--|--|-----------------------|---|----------|-----------------------------|
| 2.04 -                                     |  | 21 Minuten            | 5 Bouillonröhrchen, davon 3 auf Agar ausgestrichen. | 0        | } Staub ebenso untersucht + |
| 2.7 +                                      |  | 23 „                  | „   | +        |                             |

Aus diesen beiden Versuchen geht nur so viel hervor, dass Prodigiosus bei 2.04<sup>mm</sup> nicht verstäubbar ist; der weitere Schluss aber, dass er bei 2.7<sup>mm</sup> verstäubbar sei, ist nicht berechtigt; denn es fehlt bei dieser Art

der Untersuchung (mittels Bouillon) an jedem Urtheil über die Anzahl der verstäubten Keime, und erst das giebt, wie eben gezeigt wurde, ein richtiges Bild.

Zum Schluss seien noch zwei Versuche mit *Prodigiosus* angeführt, weil sie für die Erklärung der beobachteten Thatsachen von Bedeutung sind. Die Verstäubung geschah hierbei auf die gewöhnliche Weise, auch bei denselben geringen Geschwindigkeiten, nur betrug die Länge des Verstäubungsraumes nicht 80<sup>cm</sup>, sondern nur 15<sup>cm</sup>.

| Geschwindigkeit in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit in Centimetern pro Secunde | Dauer der Verstäubung | Art der Untersuchung          | Resultat       | Bemerkungen                                     |
|--|--|-----------------------|-------------------------------|----------------|---|
| 1·4 +                                      |  | 29 Minuten            | 6 Platten (Agar und Gelatine) | sehr reichlich | } Länge des Verstäub.-Raumes = 15 <sup>cm</sup> |
| 3·1 +                                      |  | 10 „                  | „                             | übersät        |   |

Es folgt somit aus den *Prodigiosus*-Versuchen, dass Stäubchen von einem Gewichte, das einen senkrechten Transport dieser Stäubchen über eine Strecke von 80<sup>cm</sup> durch Luftströme von mehr als 4<sup>cm</sup> pro Secunde zulässt, dass diese Stäubchen lebende *Prodigiosus*keime zu tragen vermögen. Ebenso vermögen Stäubchen, die durch Luftströme von 1·4<sup>mm</sup> pro Secunde eine Strecke von 15<sup>cm</sup> senkrecht transportirt werden können, noch lebende *Prodigiosus*keime zu tragen. Nicht aber befindet sich *Prodigiosus* lebendig auf Stäubchen, die durch diese Geschwindigkeiten (1·5, 1·6, 2·04<sup>mm</sup> pro Secunde) über 80<sup>cm</sup> senkrecht getragen werden. Und da das Gewicht der Stäubchen, *ceteris paribus* vom Feuchtigkeitsgrade abhängt, so darf man wohl vermuthen, dass es der Feuchtigkeitsgrad ist, welcher den Tod des *Prodigiosus* auf diesen Stäubchen herbeiführt, und dass mit dem Augenblicke, wo die Stäubchen den Trockenheitsgrad (also das Gewicht) erreicht haben, um bei diesen geringen Geschwindigkeiten über die Strecke von 80<sup>cm</sup> senkrecht verstäubbar zu sein, für den *Prodigiosus* die Möglichkeit der Existenz aufhört.

Eine weitere Frage lässt sich aus den vorliegenden Versuchen nicht mit Sicherheit beantworten, diejenige nämlich, ob der *Bacillus prodigiosus* als ein im hygienischen Sinne verstäubbares Bacterium gelten kann, ob er durch den schwebenden Luftstrom getragen — vorausgesetzt, dass er pathogen wäre — neue Infectionen hervorrufen könnte. Denn dass er bei 4<sup>cm</sup> pro Secunde verstäubbar ist, beweist dafür noch nichts. Es müsste dafür sein Verhalten bei Geschwindigkeiten von 4 bis 6<sup>mm</sup> pro Secunde erwiesen sein. Wir können vielleicht die Grenze noch etwas weiter ziehen

und sagen, dass Bakterien, die durch Luftströme von 1<sup>cm</sup> pro Secunde über eine Strecke von etwa 80<sup>cm</sup> in grosser Menge transportirt werden können, als verstäubbar gelten können. Für den Bacillus prodigiosus wurde diese Frage aus naheliegenden Gründen nicht untersucht.

Von nicht pathogenen Arten wurde noch Sarcina lutea und ein typhus-ähnlicher Bacillus untersucht.

III. Sarcina lutea.

| Geschwindigkeit<br>in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit<br>in Centimetern pro Secunde | Dauer der Verstäubung |                      |
|---|---|-----------------------|----------------------|
| 1.8 —   |   | 30 Minuten            | } Staub nachher<br>+ |
|   | 3.3 +   | 5 "                   |                      |
|   | 23.9 +  | 4 "                   |                      |

IV. Typhusähnlicher Bacillus (Hentschel).

| Geschwindigkeit<br>in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit<br>in Centimetern pro Secunde | Dauer der Verstäubung |                      |
|---|---|-----------------------|----------------------|
| 2.2 —   |   | 16 Minuten            | } Staub nachher<br>+ |
|   | 21 +  | 5 "                   |                      |
|   | 42 +  | 5 "                   |                      |

Diese beiden Bakterienarten verhalten sich demnach ähnlich dem Bacillus prodigiosus. Anders liegen die Verhältnisse z. B. beim Bacillus pyocyaneus.

V. Bacillus pyocyaneus.

| Geschwindigkeit<br>in Millimetern<br>pro Secunde | Geschwindigkeit<br>in Centimetern<br>pro Secunde | Dauer<br>der Ver-<br>stäubung | Art der<br>Untersuchung | Resultat                                 |
|--|--|-------------------------------|-------------------------|--|
| 4.1 +  |  | 20 Min.                       | 6 Agarplatten           | } Sehr reich-<br>lich Staub<br>nachher + |
|  | 2.9 +  | 10 "                          | 6 "                     |  |
|  | 17 +   | 6 "                           | 6 "                     |  |
|  | 28.2 +   | 5 "                           | 6 "                     |  |

Der Bacillus pyocyaneus gehört demnach zu den „verstäubbaren“ Bakterienarten. Es ist also die Infection einer Wunde mit Pyocyaneus durch den schwebenden Luftstaub als möglich anzusehen.

Von pathogenen Arten wurde zunächst wieder eine sporenhaltige, der Anthrax, untersucht.

#### VI. Bacillus anthracis (sporogen).

| Geschwindigkeit<br>in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit<br>in Centimetern pro Secunde | Dauer der<br>Verstäubung |                  |
|---|---|--------------------------|------------------|
| 1·8 +   |   | 20 Minuten               | } Sehr reichlich |
|   | 5·1 +   | 4 „                      |                  |
|   | 16·2 +  | 4 „                      |                  |

Sporenhaltiger Milzbrand ist also verstäubbar, wofür ja die sogenannte Hadernkrankheit ein Beispiel abgibt.

Es folgen einige Kokkenarten.

#### VII. Staphylococcus pyogenes aureus (aus Eiter).

| Geschwindigkeit<br>in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit<br>in Centimetern pro Secunde | Dauer der<br>Verstäubung |                  |
|---|---|--------------------------|------------------|
| 1·4 +   |   | 30 Minuten               | } Sehr reichlich |
| 1—2 +   |   | 30 „                     |                  |
| 3·6 +   |   | 10 „                     |                  |
|   | 1·1 +   | 10 „                     |                  |
|   | 4·3 +   | 5 „                      |                  |
|   | 55 +  | 3 „                      |                  |

#### VIII. Diplococcus intracellularis (Meningococcus).

| Geschwindigkeit<br>in Millim. pro Sec. | Geschwindigkeit<br>in Centimetern pro Sec. | Dauer der<br>Verstäubung | Art der<br>Untersuchung    |  |
|--|--|--------------------------|----------------------------|--|
| 3 +                                    |  | 25 Minuten               | 5 Glycerin-<br>Agarplatten | } Sehr reich-<br>lich Staub<br>nachher + |
|  | 4 +  | 5 „                      | 4 „                        |  |
|  | 25 +                                       | 3 „                      | 4 „                        |  |

Diese Kokkenarten (*Staphylococcus pyogenes aureus*, und *Meningococcus*) müssen demnach als verstäubbar gelten. Es ist nach den biologischen Eigenschaften dieser Bakterien denkbar, dass z. B. eine Angina durch Zimmerstaub-Uebertragung zu Stande kommt. Manche Erfahrungen, wie z. B. die Anginawohnungen stehen damit im Einklang. Eine experimentelle Thatsache, von Arens<sup>1</sup> mitgetheilt, stimmt ebenfalls damit überein. Es gelang ihm öfters, durch Einimpfung von aufgefangenem

<sup>1</sup> Arens, Quantitative Staubbestimmungen in der Luft u. s. w. *Archiv für Hygiene*. 1894. Bd. XXI. S. 325.

Fabrikstaub bei Thieren Eiterungen hervorzurufen, in denen der *Staphylococcus pyogenus aureus* nachgewiesen wurde.

Ganz anders verhielt sich der

#### IX. *Pneumococcus*.

Die Versuche wurden derart angestellt, dass die übliche Menge Staub mit verschiedenen (je nach der Beschaffenheit des Sputums) im Allgemeinen geringen Mengen eines vorher geprüften pneumonischen Sputums versetzt, verrieben und verstäubt wurde, und dass der Inhalt des Auffangkölbchens Mäusen subcutan einverleibt wurde. Ausserdem wurde der restirende Staub ebenfalls Mäusen subcutan injicirt. Meistens wurde auch das Sputum an sich so geprüft. Während aber diese letzteren Mäuse ausnahmslos an der *Pneumococcus*sepsis zu Grunde gingen, ist mir von den 24 Staubmäusen keine einzige an *Pneumococcus*sepsis gestorben. Es wurden dabei (in 4 Versuchen) Geschwindigkeiten von 2·8<sup>mm</sup> bis 23<sup>cm</sup> pro Secunde in 7 verschiedenen Abstufungen angewendet. Es muss indessen besonders erwähnt werden, dass auch die mit dem restirenden Staube inficirten Mäuse nicht gestorben sind, somit also der Beweis fehlt, dass ein infectiöser Staub zur Verstäubung gelangt war. Ich kann somit die Germano'sche Angabe, der zu Folge der *Pneumococcus* im Allgemeinen die Austrocknung sehr gut verträgt, nicht bestätigen. Wenigstens war das in den 4 von mir verarbeiteten pneumonischen Sputen der Fall.

Aehnlich fielen die Versuche mit

#### X. *Vibrio Cholerae asiaticae* und XI. *Pestbacillus*

aus. Bei dem *Vibrio Cholerae* wurden in drei Versuchen Geschwindigkeiten von 2·2<sup>mm</sup> bis 32<sup>cm</sup> pro Secunde in 7 Abstufungen angewendet, ohne dass es gelungen wäre, auch nur einen Keim lebendig aufzufangen.

Beim *Pestbacillus* gelangten in 2 Versuchen Geschwindigkeiten von 2·9<sup>mm</sup> bis 25<sup>cm</sup> pro Secunde in 6 Abstufungen, gleichfalls mit negativem Erfolge zur Anwendung. Es möge noch betont werden, dass die Untersuchung des Auffangkölbchens mit adäquaten Nährmedien und unter den richtigen Bedingungen stattfand.

Auch bei diesen beiden Arten gelang es nie, die betreffende Art in dem restirenden Staube nachzuweisen. Augenscheinlich sind diese Arten gegen das Austrocknen so empfindlich, dass sie die Zeit, die durch das Bereiten des Staubes, durch das Verstäuben und durch die Verarbeitung des Auffangkölbchen-Inhaltes vergeht (1 bis 2 Stunden), nicht überstehen können. Damit ist aber die erste Vorbedingung einer Verstäubung unter natürlichen Verhältnissen, die Entstehung eines feinen Staubes, ausgeschlossen. Wir müssen demnach den *Pneumococcus*, den *Choleravibrio* und den *Pestbacillus* als nicht verstäubar ansehen.

Umfangreiche Versuche wurden mit dem *Bacillus typhi abdominalis* angestellt.

### XII. *Bacillus typhi abdominalis*.

| Geschwindigkeit in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit in Centimetern pro Secunde | Dauer der Verstäubung | Art der Untersuchung                    |  |
|--|--|-----------------------|---|--|
| 1·9 —                                      |  | 30 Minuten            | 8 Gelatineplatten<br>2 Bouillonröhrchen | } +<br>2 verdächtige<br>Colonieen<br>Staub nachher |
| 2·7 —                                      |  | 18 „                  | 5 Gelatineplatten                       |  |
| 4·9 —                                      |  | 10 „                  | 7 Gelatineplatten<br>2 Bouillonröhrchen |  |
| 5—6 —                                      |  | 10 „                  | 7 Gelatineplatten                       |  |
|  | 1·7 +                                      | 10 „                  | 7 „                                     | Recht reichlich                                    |
|  | 6·5 +                                      | 5 „                   | 5 „                                     | „  |
|  | 39·5 +                                     | 4 „                   | 5 „                                     | „  |

Die Grenze der Verstäubbarkeit lag also hierbei unterhalb 1·7 cm. Weitere Versuche wurden wie beim *Bacillus prodigiosus* derart angestellt, dass der Inhalt des Auffangekölbchens nicht zu Platten verarbeitet, sondern auf mehrere Bouillonröhrchen vertheilt wurde. Wie schon bemerkt wurde, gaben diese Versuche kein richtiges Bild, weil sie bei positivem Erfolge noch nicht über die Anzahl der lebend überführten Bakterien Auskunft geben, einzelne Individuen aber wohl auch bei im Allgemeinen geringen Geschwindigkeiten in Folge von Druckschwankungen zufällig lebendig im Auffangekölbchen anlangen können.

Der folgende Versuch dürfte als Beweis hierfür heranzuziehen sein.

| Geschwindigkeit in Millimetern pro Sec. | Dauer der Untersuchung | Art der Untersuchung | Resultat   |
|---|------------------------|----------------------|--|
| 8·1                                     | 5 Minuten              | 6 Bouillonröhrchen   | Davon 4 steril,<br>in 2 werden die Typhus-<br>bacillen nachgewiesen. |

Es folgt daraus, dass auch bei einer Geschwindigkeit von 8<sup>mm</sup> pro Secunde nur ganz vereinzelt Keime lebend verschleppt werden können. Eine „Verstäubbarkeit“ in dem oben definirten Sinne erfolgt augenscheinlich erst bei grösseren Geschwindigkeiten. Im Weiteren wurden die Versuche derart variirt, dass ältere Agarculturen als Ausgangsmaterial benutzt wurden, ohne dass ein Unterschied gegenüber 24 stündigen Culturen hervorgetreten wäre. Es wurde ferner anstatt von einer Agarcultur von einer Bouilloncultivur ausgegangen; dabei zeigte sich, dass die

Züchtung in Bouillon für die Verstäubung ungünstigere Bedingungen ergab, als die Züchtung auf Agar.

Schliesslich wurde noch mit dem Typhusbacillus gleichfalls wie beim Bacillus prodigiosus Verstäubungsversuche über kurze Entfernungen (15<sup>cm</sup>) angestellt.

| Geschwindigkeit in Millim. pro Sec. | Dauer der Verstäubg. | Art der Untersuchung | Resultat   |  |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|------------|--|
| 1·9 +                               | 34 Min.              | 5 Gelatinepl.        | Reichlich  | Verstäubungsentfernung<br>15 <sup>cm</sup> |
| 4·6 +                               | 11 „                 | 7 „                  | „          |  |
| 1·6 +                               | 10 „                 | 5 „                  | Vereinzelt |  |
| 1·6 —                               | 30 „                 | 5 „                  | 0          | Verstäubungsentfernung<br>80 <sup>cm</sup> |

Es zeigte sich also wieder, dass der Bacillus die Strecke von 15<sup>cm</sup> bei denselben Geschwindigkeiten lebend zurücklegen konnte, bei denen er nach Zurücklegung einer Entfernung von 80<sup>cm</sup> nicht mehr lebendig gefunden wurde.

Es folgt aus den mitgetheilten Versuchen, dass der Bacillus typhi bei den im Zimmer gewöhnlich herrschenden Geschwindigkeiten des Luftstromes nicht über eine Strecke von 80<sup>cm</sup> verstäubbar ist, dass er demnach als nicht verstäubbar gelten muss. Indessen steht sein Verstäubbarkeitsvermögen hart an der Grenze, die wir festgesetzt haben.

Anders verhielt sich der Bacillus diphtheriae.

XIII. Bacillus diphtheriae (1 bis 3tägige Serumculturen).

| Geschwindigkeit in Millimetern pro Secunde | Geschwindigkeit in Centimetern pro Secunde | Dauer der Verstäubung | Art der Untersuchung |
|--|--|-----------------------|----------------------|
| 1·8 —                                      |  | 33 Minuten            | Agarplatten          |
| 3·5 —                                      |  | 12 „                  | „                    |
| 3·9 —                                      |  | 20 „                  | „                    |
| 4·4 —                                      |  | 13 „                  | „                    |
|  | 4 —  | 18 „                  | „                    |
|  | 4·8 —                                      | 5 „                   | „                    |
|  | 3·2 —                                      | 9 „                   | „                    |
|  | 19·7 +                                     | 5 „                   | „                    |
|  | 21·3 +                                     | 7 „                   | „                    |
|  | 44·5 +                                     | 22 „                  | „                    |

Man ersieht, dass die Verstäubbarkeit des Diphtheriebacillus erst bei Geschwindigkeiten von etwa 20<sup>cm</sup> pro Secunde zu constatiren war, bis zu 5<sup>cm</sup> Geschwindigkeit aber noch keine Verstäubbarkeit festzustellen war. Der Diphtheriebacillus gehört demnach zu den nicht verstäubbaren Bakterienarten.

Mit dem *Streptococcus pyogenes* konnten aus äusseren Gründen nur wenige Versuche angestellt werden.

#### XIV. *Streptococcus pyogenes*.

| Geschwindigkeit<br>in Millim. pro Sec. | Geschwindigkeit<br>in Centim. pro Sec. | Resultat |   |
|--|--|----------|---|
| 5                                      |  | 0        | } Restirender Staub ++<br>Untersuchung mit Glycerin-<br>Agarplatten |
| 4                                      |  | 0        |   |
|  | 3                                      | 0        |   |
|  | 4                                      | 0        |   |

Auch der *Streptococcus* muss demnach zu den nicht verstäubbaren Arten gezählt werden. Indessen muss ich zugeben, dass bei der Wichtigkeit der Frage noch mehr Versuche erforderlich gewesen wären.

Zum Schluss sei eine Versuchsreihe erwähnt, die sich auf den wichtigsten Krankheitserreger, den Tuberkelbacillus XIV, bezog.

Die Versuche wurden derart angestellt, dass unverdünntes oder achtfach verdünntes phthisisches Sputum (das auf seine Reichhaltigkeit zuvor geprüft war) mit der üblichen Staubmenge verrieben und verstäubt wurde. Der Inhalt des Auffangekölbchens wurde dann Meerschweinchen intraperitoneal injicirt, ebenso der in der Staubflasche restirende Staub. Jede Probe wurde auf zwei Meerschweinchen vertheilt. Von dem Kölbcheninhalt wurden etwa 5<sup>ccm</sup> eingespritzt. Die Meerschweine wurden wöchentlich gewogen. Bei den Sectionen wurden gewöhnlich 4 verschiedene Stellen auf Tuberkelbacillen untersucht, die Drüsen des grossen Netzes, die retroperitonealen Drüsen, das Bauchfell und ein Organ (gewöhnlich Milz).

#### XV. *Bacillus tuberculosis*.

| Nummer | Staub vor<br>dem Versuch | Bei 3 bis 5 <sup>mm</sup> pro<br>Sec. Geschwindigkeit<br>verstäubter Staub | Bei etwa 20 <sup>cm</sup> pro<br>Sec. Geschwindigkeit<br>verstäubter Staub | Untersuchung des<br>restirenden Staubes |
|--------|--------------------------|--|--|---|
| 1      | +                        | +  | +  | +                                       |
|        |                          | +  | 0  | +                                       |
| 2      |                          | 0  | +  | +                                       |
|        |                          | 0  | 0  | +                                       |
| 3      |                          | +  | +  | +                                       |
|        |                          | +  | +  | +                                       |
| 4      |                          | +  | +  | +                                       |
|        |                          | 0  | +  | +                                       |

+ bedeutet, dass das Versuchsthier an Tuberculose starb.

0                   "                   "                   am Leben blieb.

Es zeigt die vorstehende Tabelle zunächst, dass stets ein infectiöser Staub zur Verstäubung kam, wie der Tod der acht Thiere beweist, welche mit dem restirenden Staube inficirt wurden. Es ergibt sich ferner, dass derartiger Staub bei Verstäubung mit grösseren Geschwindigkeiten (20<sup>cm</sup>) und sogar bei Verstäubung mit geringen Geschwindigkeiten (3 bis 5<sup>mm</sup>) noch infectiös wirkt, denn es starben von je acht solchen Thieren sechs bezw. fünf. Der Umstand, dass bei beiden Geschwindigkeiten einzelne Thiere am Leben blieben, erklärt sich wohl aus den Quantitätsverhältnissen und ist in jedem Falle von geringerer Beweiskraft als der überwiegend oft eingetretene Tod der Versuchsthiere. Es hätte somit der Tuberkelbacillus als unter unseren Bedingungen verstäubbar zu gelten.

Es ist hier vielleicht angezeigt, auf die hygienische Nutzanwendung unserer Versuche hinzuweisen. Wenn wir gefunden haben, dass einzelne Bakterienarten in unseren künstlichen Staubgemengen unter den günstigsten Bedingungen nicht verstäubbar waren, so ist der Schluss berechtigt, dass auch mit natürlichem Staube diese Bakterien nicht verstäubt werden. Wenn wir aber bei unserer Anordnung eine Verstäubbarkeit anderer Arten constatiren, so ist damit ohne Weiteres noch nicht gesagt, dass diese Bakterien mit jedem schwebenden Zimmerstaube lebend transportirt werden können. Denn in unseren Versuchen hatte der Staub den maximalen Feuchtigkeitsgrad, bot demnach die günstigsten Bedingungen, wie sie durchaus nicht immer vorzukommen brauchen.

Bei der Tuberculose speciell erhebt sich nach Beantwortung unserer biologisch wichtigen Frage noch eine fernere, ebenso wichtige, ob denn überhaupt aus tuberkelbacillenhaltigem Material ein derartig feiner Staub entsteht. Soviel ist sicher, dass man, wenn tuberculöses Sputum auf einer glatten Fläche antrocknet, noch nach Wochen starke mechanische Momente anwenden muss, um einen einigermassen feinen Staub herzustellen. Ob das aber beim Zerreiben durch Zertreten, Bürsten u. s. w. stattfindet und in welchem Umfange das der Fall ist, das sind Fragen, die einer besonderen Beantwortung bedürfen.

So unwahrscheinlich uns dieser Modus der Tuberkelbacillenstaubentstehung erscheint, — dass nämlich ausgehustetes Sputum antrocknet und durch mechanische Momente in absehbarer, für die Conservirung der Bacillen nicht zu langer, Zeit in jenen feinsten Staub übergeht — so sehr erscheint ein anderer, neuer Modus der Staubentstehung der besonderen Prüfung werth, derjenige nämlich, dass die oft erwähnten kleinsten, unsichtbaren Tröpfchen sich auf feinen Staub niederlassen und so selbst alsbald in feinsten Staub übergehen.

Um die Resultate noch einmal kurz zusammenzufassen, so ist eine Verbreitung durch den schwebenden Zimmerstaub unmöglich bei

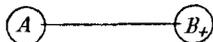
|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Bacillus diphtheriae       | Vibrio cholera asiatica     |
| Bacillus typhi abdominalis | Pneumococcus                |
| Bacillus pestis.           | Streptococcus pyogenes (?). |

Diese Verstäubbarkeit ist aber nach dem biologischen Verhalten der Infectionserreger nicht auszuschliessen bei dem

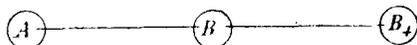
|                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Staphylococcus pyogenes aureus | Bacillus anthracis (sporogen) |
| Bacillus pyocyaneus            | Meningococcus                 |
| Bacillus tuberculosis.         |                               |

Es sei hier gestattet, ein Schema anzufügen, welches das Ziel unserer Versuche vielleicht noch etwas deutlicher zeigen kann.

Angenommen ein Infectionsträger  $A$  verbreite sehr ausgiebig grössere oder jene erwähnten kleinen Partikel, welche mit einer infectiösen Bakterienart durchsetzt sind. Diese Partikel können direct (durch Contact oder auf dem Luftwege in Form kleinster Tröpfchen) zu einer Stelle von  $B$  gelangen ( $B+$ ), welche als Invasionspforte für diesen Erreger geeignet ist. Der Weg wäre also

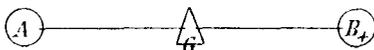


Bei der indirecten Infection ist zwischen Contact- und Luftinfection zu unterscheiden. Was zunächst die indirecte Contactinfection betrifft, so ist als erster Fall denkbar, dass  $B$  direct inficirt wurde an einer Stelle, welche zur Entfaltung der Thätigkeit des betreffenden Infections-erregers ungeeignet ist und dass der Erreger erst von dieser Stelle aus zu der eigentlichen Invasionspforte gelangte.



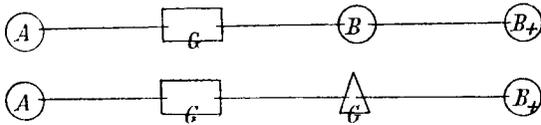
z. B. Cholera-infection durch inficirte Finger.

Es ist ferner möglich, dass ein Gegenstand  $\Delta_G$  direct inficirt wurde, welcher den Infectionskeim unmittelbar zu  $B+$  übertrug, so z. B. bei Typhus-infection durch Nahrungsmittel (Wasser) oder aber, wenn ein Instrument mit Eiter, oder ein Trinkglas mit Diphtheriebacillen inficirt wurde.



Ein anderer Weg ist der, dass der direct inficirte Gegenstand  $\boxed{G}$  gar nicht geeignet ist, mit einer Invasionspforte von  $B$  unmittelbar in Berührung zu kommen, sondern dazu nothwendiger Weise erst der Vermittlung mindestens eines zweiten Gegenstandes bezw. von  $B$  bedarf, z. B. Infection eines Kindes von einer diphtherieinficirten Schulbank aus, oder aber Typhusinfection durch Gemüse, welches in einem inficirten Boden gewachsen ist.

Der Weg wäre in diesen Fällen

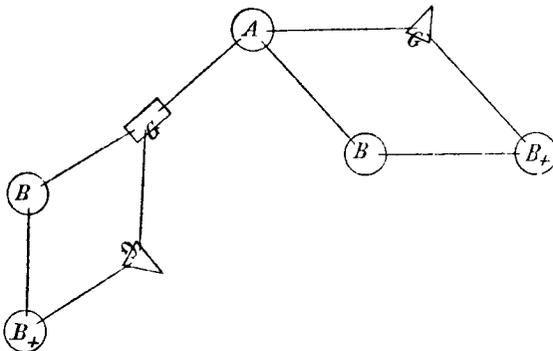


Man ersieht, dass zwei Gruppen von Gegenständen unterschieden worden sind, solche  $\left(\triangle G\right)$ , welche unmittelbar mit  $B +$  in Berührung kommen können und solche  $\left(\boxed{G}\right)$ , bei denen das nicht ohne Vermittlung möglich ist, gleichsam Leiter 1. und 2. Ordnung.

Diese Unterscheidung lässt sich natürlich weder völlig streng, noch für alle Fälle gleichmässig durchführen. Der Fussboden wird z. B. beim Tetanus ein „Leiter 1. Ordnung“ sein können, beim Typhus gewöhnlich ein „Leiter 2. Ordnung“ sein. Es wird aber auch beim Typhus vorkommen können, dass ein Kind den Fussboden direct ableckt. Es handelt sich indessen hier um die Regel, nicht um die Ausnahme.

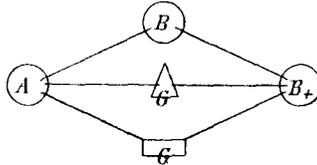
Es mag noch besonders betont werden, dass die aufgezeichneten Wege die denkbar kürzesten sind, dass in jedem Weg natürlich noch beliebig viele Stationen liegen können.

Das Gesamtschema der indirecten Contactinfection wäre somit:



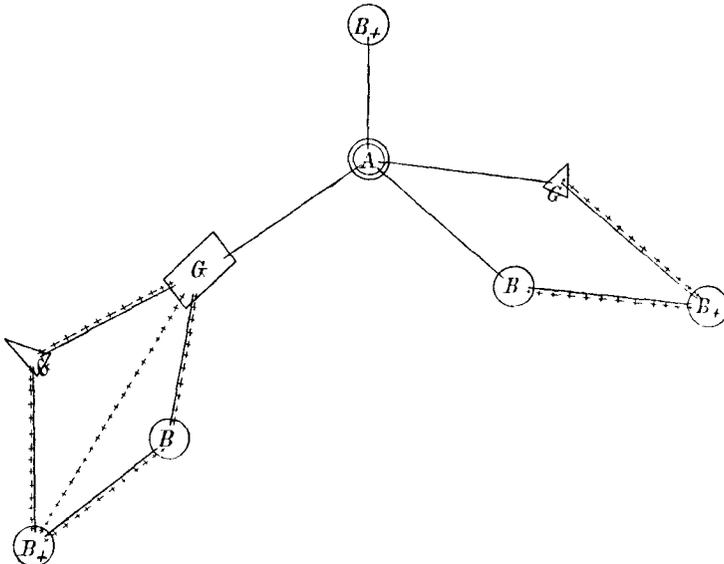
Es giebt aber nächst der indirecten Contactinfection auch eine indirecte Infection mit Hülfe der Luft, z. B. in Tröpfchenform, wie es beim Waschen inficirter Wäsche vorkommen kann. Indessen wird dies, zumal in Zimmern, der seltenste Weg sein, der auch deshalb hier ausser Betracht bleiben möge.

Ein anderer Transport durch die Luft hat für uns ein ungleich grösseres Interesse, die Uebertragung durch den Luftstaub, welche von allen Gegenständen aus, zu denen unmittelbar oder mittelbar infectiöses Material gelangt ist, denkbar ist. In die Sprache unseres Schemas übertragen, würde dieser Weg folgendermassen zu bezeichnen sein:



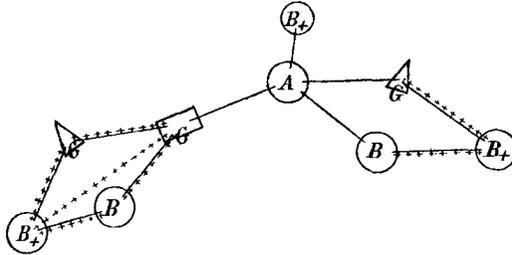
Von diesen drei Wegen bieten die beiden oberen nichts Besonderes, sie kommen auch bei der indirecten Uebertragung durch Contact vor; charakteristisch ist aber der dritte Weg, der bedeutet, dass auf diesem so nahen Wege eine Infection zu Stande kommen kann von irgend welchen Gegenständen aus, welche an sich zu einer Contactinfection nicht geeignet wären. Darin liegt die grosse Bedeutung dieses Weges und darin die Unterscheidung von der indirecten Contactinfection.

Das Gesamtschema würde demnach so aussehen (die Wege der Staubinfection sind durch +++++ bezeichnet):

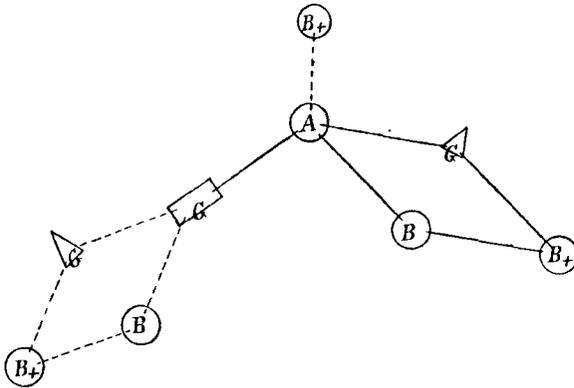


Auf Grund der Experimente und der Erfahrung kann man es nun unternehmen, sich den Verbreitungsmodus einzelner Infectionskrankheiten schematisch zu veranschaulichen, zumal, wenn man die erfahrungsgemäss häufig und die selten betretenen Wege durch Ausziehen bzw. Punktiren der Linien unterscheidet.

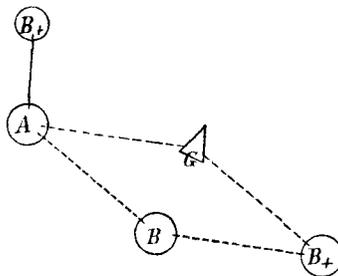
Während z. B. das Schema für den *Staphylococcus pyogenes aureus* das folgende sein würde:



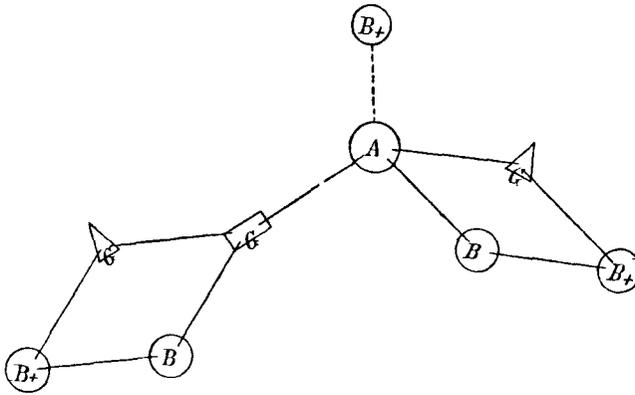
würde es für den *Vibrio cholerae asiaticae* folgendes sein:



und für den Gonococcus:



und für den *Bacillus typhi abdominalis*:



Um noch einmal kurz zum Thema zurückzukehren, so hat sich gezeigt, dass dem schwebenden Luftstaub für die erwähnten Krankheitserreger eine epidemiologische Rolle nicht zukommt. Aus diesem Grunde muss man auch für diese Krankheiten den Begriff des „Typhushauses“, „Diphtheriehauses“ u. s. w. modificiren.

Es ist wohl möglich, dass Infectionsmaterial im einzelnen Falle in den Staub gelangt und sich dort lange Zeit conservirt, es ist auch denkbar, dass von da aus gelegentlich eine neue Infection durch Contact erfolgt, die noch vielfach verbreitete Vorstellung aber, dass dieser Staub zum Schweben kommen und so eine dauernde, unsichtbare Gefahr für Wohnung, Haus und Nachbarschaft bilden könnte, — diese Vorstellung ist auf Grund der Versuche nicht mehr haltbar.