

[Aus dem Institut für Hygiene und Bakteriologie der Universität
Straßburg i. Els.]

(Direktor: Geheimrat Prof. Dr. Uhlenhuth.)

Über die Wirkungsweise von biologischen Abwasserreinigungskörpern.

(I. Mitteilung.)

Von

Dr. **Th. Messerschmidt**,
Assistent des Instituts.

Zur Erklärung der Wirkungsweise von biologischen Tropfkörpern auf die Reinigung von Abwässern, die mit organischem Material verunreinigt sind, hat Stoddart (1) die sonst wohl allgemein anerkannte Dunbarsche Absorptionstheorie (2) angegriffen. Nach dieser finden die Reinigungsvorgänge in den biologischen Füllkörpern in der Weise statt, daß aus dem Abwasser das verunreinigende, gelöste organische Material auf die „Schleimschicht“ der zur Füllung dienenden Koksstücke des biologischen Körpers niedergeschlagen wird. Dieser Absorptionsvorgang findet in ganz kurzer Zeit nach dem Beschicken des Körpers mit Abwasser statt, wenn derselbe eingearbeitet ist: d. h. wenn sich auf den Koksstücken die absorbierende Schleimhaut gebildet hat. Letztere ist also die Bedingung für eine stattfindende Absorption. Erst nach erfolgter Absorption findet in der Ruhezeit, d. h. in dem Intervall bis zur neuen Beschickung des Körpers mit Abwasser durch die Tätigkeit der „nitrifizierenden Bakterien“ ein Abbau des hochmolekularen organischen Stickstoffs zum Ammoniak und zur Salpetersäure statt. Diese gehen bei der Neubeschickung des Körpers mit dem Abwasser in Lösung, während aus dem frischen Abwasser das organische Material aufs neue absorbiert wird. Ein ganz analoger Vorgang findet in den Tropfkörpern statt. Auch in diesen wird der

Abbau der organischen, gelösten Verunreinigungen durch den physikalisch-chemischen Prozeß der Absorption erst ermöglicht. Zu dieser Erklärung der Vorgänge kam Dunbar auf Grund von eingehenden Beobachtungen biologischer Körper in der Praxis und entsprechender Laboratoriumsversuche, die von O. Kammann (3) u. a. ausgeführt wurden.

Dunbar zeigte dann weiter, daß ein eingearbeiteter biologischer Füllkörper, der nach einer Ruhepause neu beschickt wird, bereits einige Minuten nach der Neubeschickung völlig gereinigtes Abwasser liefert, wenn zuvor die Ruhepause lange genug dauerte. Wurde das Abwasser der zweiten Beschickung mit Fluoreszein gefärbt, so erschien der Farbstoff bereits einige Minuten nach der Füllung im gereinigten (d. h. von organischen Stoffen befreiten) Abwasser.

Eine Erklärung dieses letzteren Resultats kann wohl nur mit Hilfe der Absorptionstheorie gegeben werden. In wenigen Minuten können unmöglich die nitrifizierenden Bakterien große Mengen organischer Stickstoffverbindungen bis zur Salpetersäure mineralisieren. Die kurze Durchschnittsgeschwindigkeit wird durch den nicht absorbierbaren Farbstoff angezeigt.

Stoddart hat nun — wie er angibt ohne Kenntnis der Abwasserreinigungsversuche, die in großem Maßstabe besonders in Amerika unternommen wurden, fast lediglich auf Grund der Studien Winogradzkis über nitrifizierende Bakterien — eigene Studien über die Theorie und Praxis der Abwasserreinigung unternommen.

Die von ihm gebauten biologischen Tropfkörper arbeiten kontinuierlich. Sie sind in der Weise gebaut, daß der über dem Körper befindliche feststehende Zulauf genau horizontal steht. Dieser bildet Rinnen, die am Boden durchlöchert und so eingerichtet sind, daß der ganze Körper gleichmäßig, tropfenförmig mit Abwasser beschickt wird. Bei einer den intermittierend arbeitenden Körpern gleichgroßen Beschickung wird mit den kontinuierlichen Stoddartschen Körpern angeblich ein besserer Reinigungseffekt erzielt.

Stoddart erklärt die erzielte Reinigung lediglich durch die Tätigkeit der nitrifizierenden Bakterien und lehnt die Absorptionstheorie als solche ab, wenngleich er zugibt, daß in nicht geklärtem Abwasser ein gewisses Niederschlagen von ungelösten Stoffen stattfindet, während die Absorptionstheorie sich nur mit gelösten Stoffen befaßt. Für ihn ist also der eigentliche Reinigungsvorgang ein biologischer Prozeß, während Dunbar und mit ihm die große Mehrzahl der übrigen Beobachter vor dem biologischen Prozeß noch eine physikalisch-chemische Reaktion annehmen.

Hierzu ist noch zu bemerken, daß bevor Dunbar auf Grund seiner Beobachtungen die Absorptionstheorie aufstellte, allgemein die Erklärung der Abwasser-Reinigungsvorgänge in der ausschließlichen Tätigkeit der

nitrifizierenden Bakterien gesucht wurde. Wenn Stoddart nun Prioritätsansprüche bezüglich seiner Nitrifikationstheorie erhebt, so ist dagegen zu sagen, daß er nur unabhängig von anderen Untersuchern zu gleichen Anschauungen kam. Wenn er aber Anstoß daran nimmt, daß seine Methode der kontinuierlichen Beschickung nicht genügend beachtet wurde, so dürfte das wohl daran liegen, daß die Mehrzahl der Untersucher mit der intermittierenden Beschickung ausreichende Reinigungseffekte erzielten. Stoddart hat nun durch Laboratoriumsversuche eine neue Stütze seiner Nitrifikationstheorie zu erbringen versucht.¹

Den von ihm benutzten Apparat zeigt Fig. 1 als schematische Skizze.

Der „biologische“ Körper besteht aus einem Glasrohr von 2.5^{cm} Durchmesser und 90^{cm} Länge (A). Das obere Ende ist offen, während das untere sich rasch verjüngt, schräg und kurz abgeschnitten ist. Hierdurch wird erreicht, daß ein am unteren Ende sich aus dem Rohr sammelnder Tropfen dasselbe nicht vorübergehend verschließt und damit den Zutritt der Luft von unten verhindert, wie Stoddart annimmt.

Das Glasrohr ist gefüllt mit Marmorstückchen von gleicher Korngröße. Jedes Korn hat einen Durchmesser von 0.3^{cm} (= $\frac{1}{8}$ inch). Im unteren Teile des Rohres befinden sich einige dickere Steinchen, die ein Durchfallen des feineren Marmors durch die Abflußöffnung verhüten. Die Oberfläche einer cubic yard (0.9^{cbm}) berechnet Stoddart auf 900 sq. yards = 810^{qm}.

Der Inhalt der Glasröhre betrug 455^{ccm} Wasser; gefüllt wurde dasselbe mit 245^{ccm} Marmor, der ein Porenvolumen von 210^{ccm} aufwies.

Durch einen besonderen Ansatz am Ablauf erreicht Stoddart, daß der austretende Tropfen den Ablauf verschließt; vgl. Fig. D.

Ein kontinuierlicher und stets gleichgroßer Zufluß soll durch eine theoretisch sehr sinnreiche Einrichtung erzielt werden. Sie besteht aus einer Flasche mit abgesprengtem Boden. Durch den Stopfen führt ein Glasrohr (A), das zu einer Spitze ausgezogen ist. Wird nun ein Kolben mit Wasser in diese Flasche eingeführt, wie das die Abbildung zeigt, so fließt aus dem Kolben nur dann Wasser aus, wenn der Wasserspiegel in der Flasche unter das untere Ende des Halses gesunken ist. Die Druckhöhe über der zur Spitze ausgezogenen Glasröhre bleibt also stets gleich. Es müßte dann also auch die Tropfenzahl gleichgroß bleiben, da ja die

¹ Hr. Prof. Dr. Dunbar hat mich während einer mehrwöchentlichen Tätigkeit am Hamburger staatl. Hygienischen Institut mit der Nachprüfung der Stoddart'schen Versuche beauftragt. Die Kürze der Zeit gestattete aber nur das Einarbeiten in die Versuchstechnik. Für seine Anregung, sowie die praktischen Anleitungen, die mir Hr. Dr. Kammann gab, danke ich verbindlichst. Die vorliegende Arbeit wurde im Institut für Hygiene und Bakteriologie zu Straßburg ausgeführt.

Schematische Skizze des biologischen Laboratoriumskörpers.

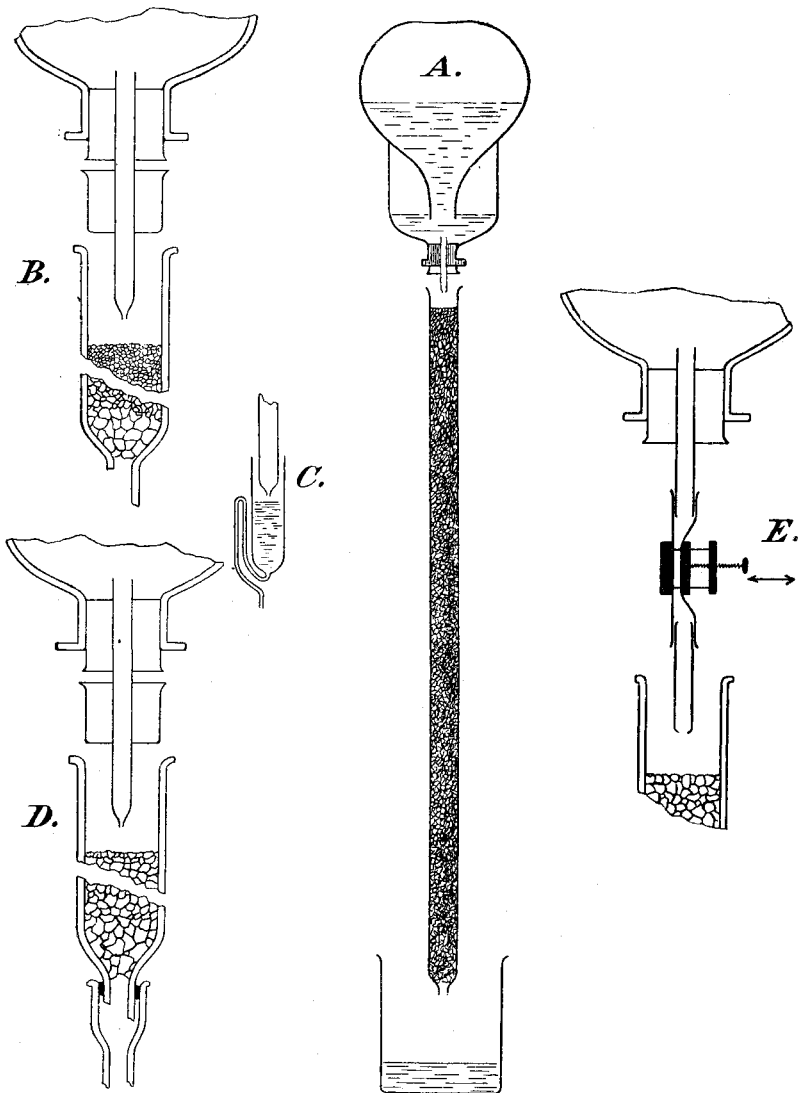


Fig. 1.

A.: Gesamter Apparat. — *B.*: Vorrichtung um den Körper oben zu schließen. — *D.*: Desgl. oben und unten. — *C.*: Heberapparat, um aus dem kontinuierlichen einen intermittierenden Zufluß zu machen. (Nach Stoddart kopiert.) — *E.*: Zuflußregulierung mittels Quetschhahn.

Ausflußöffnung gleichgroß bleibt und die Temperatur nur unerheblich wechselt. Durch eine Vorrichtung mit einer Art Heberkonstruktion, die am Zulauf befestigt wird (siehe Fig. C) erreicht Stoddart, daß aus der kontinuierlichen Beschickung eine intermittierende zu machen ist. Weiter kann die zur Spitze ausgezogene Glasröhre des Zulaufs — wie wir den bisher beschriebenen Apparat der Kürze halber nennen wollen — durch einen Stopfen geführt werden, der das Glas des Marmorkörpers oben fest verschließt. Der Luftzutritt von oben wird dadurch abgeschlossen. Nähere Einzelheiten dürften sich wohl durch die Abbildung erübrigen.

Meine Versuche wurden ausgeführt mit vier Körpern. Von diesen entsprechen zwei (Nr. III und IV) völlig den von Stoddart angegebenen Körpern. Zwei weitere Nr. I und II hatten etwas andere Größenverhältnisse. Das Glasrohr war in beiden 68^{cm} lang und hatte einen Durchmesser von 3.5^{cm} ($J = 660^{\text{cm}}$). Sie waren im ganzen also 22^{cm} kürzer und hatten dafür einen größeren Durchmesser. Ehe wir auf die Versuche selbst eingehen, wollen wir bemerken, daß alle vier Körper unter quantitativer Berücksichtigung ihrer Größe völlig gleichartig arbeiteten.

Es war indessen erst nach vielem vergeblichen Bemühen möglich, einen nur einigermaßen exakt arbeitenden Zuflußapparat zu konstruieren. Mit destilliertem Wasser arbeitet die Stoddartsche Vorrichtung hinreichend gleichmäßig, nicht aber mit der zu den Versuchen erforderlichen Chlorammoniumlösung und noch weniger mit filtriertem nicht gereinigtem Abwasser, aus Gründen, die wir gleich sehen werden. Auf diese Schwierigkeit weist Stoddart nicht hin, und ich vermute, daß unsere verschiedenen Resultate sich zum Teil durch die Einrichtung des Zuflusses erklären.

Es erscheint daher nötig, auf die Konstruktion desselben näher einzugehen.

Die Stoddartsche Abbildung zeigt, daß das Tropfrohr des Zuflusses zu einer kurzen Spitze ausgezogen ist. Bei der zur Beschickung nötigen Zuflußmenge von einem Tropfen und weniger in 1 Minute verdunstet das Wasser teilweise und bedingt dadurch ein Auskristallisieren der Salze; andererseits beginnt bei mehrtägigem Tropfen in der Flasche Bakterien- und Pilzwachstum, da ja, selbst wenn der gesamte Zufluß sterilisiert ist, dieser bald durch die Luft wieder infiziert wird. Dieses Pilzwachstum verlegte ebenso wie das Auskristallisieren der Salze in unseren Versuchen den Ausfluß. Eine exakte Regulierung wurde dadurch unmöglich; stets wurde während des Versuchs die Tropfenmenge geringer, und zwar nahm sie in 2 bis 3 Tagen um 50 Prozent und mehr ab.

Wir haben uns nach verschiedenen vergeblichen Versuchen in der Weise zu helfen versucht, daß zunächst der Hals des Kolbens möglichst kurz gewählt wurde. Dadurch wurde der Wasserspiegel in der Flasche

höher, der Druck auf der Ausflußspitze also größer. An Stelle der spitzen Ausflußröhre wählten wir zwei Glasröhren, die durch einen kurzen Gummischlauch verbunden wurden (Fig. E). Über diesem wurde ein Quetschhahn zum Schrauben angebracht. Das untere Glasrohr wurde an seinem dem Marmorkörper zugewandten Teil bis auf eine kleine, etwa 1 mm Durchmesser messende Öffnung zugeschmolzen, nicht zur Spitze ausgezogen.

Diese Einrichtung gestattete es, durch Anziehen der Schraube des Quetschhahns die Zuflußmenge beliebig zu verändern und ferner, sobald der Zufluß nicht mehr gleichmäßig arbeitete, durch Öffnen des Quetschhahns die angesammelten Bakterien- und Pilzrasen auszuschwemmen. Eine annähernd gleichmäßige Beschickung des Körpers wurde erzielt, indem wir empirisch die ungefähre Beschickungsgröße dadurch kontrollierten, daß wir die Tropfenzahl in 5 Minuten feststellten, und zwar 5 bis 6 mal täglich. Durch leichtes Öffnen oder Schließen des Quetschhahns wurde dann eine Regulierung der Tropfgröße erzielt. Natürlich wurden außerdem die 24 stündigen Mengen jedesmal in einem Maßzylinder unter dem Ablauf genau bestimmt. In den Versuchsprotokollen wurde dann nur diese Menge angegeben. Trotz dieser Quetschhahnvorrichtung war es nötig, den Zufluß täglich mindestens einmal zu regulieren, um unter gleichen Verhältnissen die Filter in Tätigkeit halten zu können. Arbeitete der Zufluß 3 bis 4 Tage, so war eine Kontrolle 3 bis 5 mal täglich erforderlich.

Die von Stoddart skizzierte Vorrichtung versagte oft schon am 2. Tage, regelmäßig aber bei 4 bis 5 tägigen Gebrauch. In den ersten 3 Tagen schon war die Beschickungsmenge niemals nur annähernd gleichmäßig. Sie verringerte sich, wie erwähnt, um 50 Prozent und mehr. Unzureichend arbeitete auch der Zufluß, wenn wir statt des Glasrohrs einen Glashahn, dessen eines Ende zur Spitze ausgezogen war, wählten. Die Bohrung stand in einem solchen schräg zur Druckrichtung des Wassers. Dadurch wurde der Hahn selbsttätig geöffnet, die Zuflußmenge also vermehrt. Eine Erklärung dafür, daß Stoddarts Apparat anscheinend gut, die nach seinen Angaben von mir angefertigten Apparate völlig unzureichend arbeiteten, vermag ich nicht zu geben.

Unsere Lösungen, die zur Beschickung der Körper gebraucht wurden, haben wir den Stoddartschen Angaben entsprechend bereitet. Wir stellten uns Stammlösungen dar, von denen zum Versuch entsprechende Verdünnungen angesetzt wurden. Die Stammlösung von Chlorammonium enthielt 10 g NH_4Cl im Liter Leitungswasser. Hiervon wurden Verdünnungen hergestellt von einem Stickstoffgehalt von 1 bis 5 Teilen N auf 100 000 Teile Wasser. Der in den Protokollen angegebene Gehalt von NH_3 ; N_2O_3 ; N_2O_5 wurde durch stöchiometrische Berechnung bestimmt.

Diese Verdünnungen wurden zu jedem Versuch frisch angesetzt und erhielten pro Liter einen Zusatz von $0.2 \text{ g}^{\text{mm}}$ Natriumammoniumphosphat (nach Anlehnung an Stoddart). Nach dem Kochen wurden sie mit Natriumkarbonat leicht alkalisch gemacht, filtriert und dann abgekühlt.

Ebenso wie Stoddart wandten wir Leitungswasser an. Das der Straßburger Wasserleitung entspricht bezüglich seiner Härte dem der Stadt Bristol, das einen Härtegrad von 15 Graden hat; das Straßburger Wasser weist eine Härte von 12 Grad auf. Die Untersuchung des Zu- und Abflusses auf Ammoniak (NH_3), Salpetrige Säure (N_2O_3), Salpetersäure (N_2O_5) erfolgte nach den üblichen Methoden, und zwar in folgender Weise (nach Farnsteiner, Buttenberg und Korn).

1. NH_3 : Nach Ausfällen der alkalischen Erden mit Alkalien durch Nessler's Reagens in Hehnerzylindern.

2. N_2O_3 : Durch Farbenreaktion mit Jodzinkstärkelösung in Hehnerzylindern.

3. N_2O_5 : Durch Farbenreaktion mit Bruzinschwefelsäure in Hehnerzylindern.

Mit seinem Apparat stellte Stoddart folgende Versuchsreihe an: Der Zufluß eines eingearbeiteten Filters wurde so reguliert, daß es eine maximale Leistungsfähigkeit zu verzeichnen hatte, d. h. also, daß sämtlicher Stickstoff des NH_3 zu Salpetersäure N_2O_5 überführt wird. Sobald das erreicht war, wurde der obere Stopfen auf das Glasrohr aufgesetzt; durch diesen führte das Tropfrohr.

Es wurde dadurch erreicht, daß eine Lüftung des Filters von oben verhindert wurde. In einem zweiten Versuch war der untere Verschuß so angebracht, daß der abfließende Tropfen den Ablauf verschloß. Und in einem dritten Experiment traten beide Verschlüsse gleichzeitig in Tätigkeit. Der Erfolg war, daß in allen drei Fällen, besonders aber in der letzteren Versuchsanordnung die nitrifizierende Tätigkeit des Körpers sich verminderte. Wurde dann der anfängliche Zustand wieder hergestellt, der Körper also oben und unten wieder geöffnet, so war die volle Leistungsfähigkeit wieder vorhanden.

Die Stoddartschen Angaben besagen, daß bei völlig geöffnetem Filter eine Umsetzung des NH_3 -Stickstoffs zu N_2O_5 -Stickstoff bis zu 77% stattfand, während bei teilweisem Schluß bis 49.2 Prozent und bei ganz geschlossenem Filter nur 9.4 Prozent umgesetzt wurden. Wir haben diesen Versuch mit zwei verschiedenen Filtern 12mal wiederholt und dabei streng beachtet, daß der Zulauf möglichst gleichmäßig während des jeweils dreitägigen Versuchs stattfand.

Ein seit Wochen eingearbeitetes Filter, das völlig gleichmäßig den NH_3 - zum N_2O_5 -Stickstoff umsetzte, wurde so eingestellt, daß im Ablauf eben noch nachweisbare Spuren NH_3 erschienen. Der Zulauf enthielt 1 Teil N in 20 000 Wasser und war so reguliert, daß 600^{cem} Filtermasse etwa 65^{cem} Abwasser in 24 Stunden zu verarbeiten hatten. Wurde nun der obere oder der untere Zu- bzw. Abfluß wie in den Stoddartschen Versuchen geschlossen, so daß der Luftzutritt verhindert war, so fand keine Änderung in der quantitativen Umsetzung statt. Das ist besonders bei alleinigem unteren Verschuß auch sehr wohl theoretisch zu erklären: Durch das Abfallen des Tropfens findet doch ein negativer Druck und dadurch ein Absaugen von Luft in das Rohr hinein statt. Eine künstliche Ventilation wird dadurch nahezu ebenso erzielt wie bei völlig geöffnetem Rohr. Bei oben und unten geschlossenem Filter beobachteten wir ein erhöhtes Auftreten von Salpetriger Säure, auch hatte es mehrfach den Anschein, als ob etwas erhöhte Mengen NH_3 im Ablauf erschienen. Ob diese durch die unregelmäßige Beschickung bedingt waren, konnten wir nicht sicher entscheiden. Jedenfalls handelte es sich nur um Spuren von NH_3 , das nicht zu N_2O_5 oxydiert wurde, nicht aber um Unterschiede von 77 Prozent auf 9.4 Prozent, wie sie Stoddart fand.

In einem weiteren Versuch prüfte Stoddart den Umsetzungseffekt bei kontinuierlicher und bei intermittierender Beschickung. Letzteres wurde dadurch erzielt, daß der kontinuierliche Tropfenfall in einem kleinen Gefäß aufgefangen wurde, das sich bei bestimmter Füllung durch Heberwirkung entleerte (vgl. Fig. C). Es wurde dadurch möglich, eine Beschickung alle 10, 60, 120 Minuten vorzunehmen.

Bei der von Stoddart gewählten Beschickungsmenge wurde bei kontinuierlicher Beschickung von 10 Teilen NH_3 -Stickstoff 8.4 zu N_2O_5 überführt, während bei intermittierender Zuführung nach 10 Minuten 8.2, nach 1 Stunde 5.93, nach 2 Stunden 3.4 Teile N zu N_2O_5 überführt wurden.

Diese Angaben konnten wir bestätigen. Zur Erklärung derselben schien es uns nötig festzustellen, wie lange Zeit unter obigen Bedingungen der Zufluß gebraucht, um durch das Filter zu fließen.

Dunbar hatte ja festgestellt, daß auf einen biologischen Körper gebrachtes Abwasser in wenigen Minuten gereinigt im Ablauf erscheint. Die Verhältnisse liegen aber in den Laboratoriumsfiltern völlig anders. Wir konnten beobachten, daß bei kontinuierlicher Beschickung, wie sie zu den ersten Stoddartschen Versuchen in Betracht kommt, die Durchtrittsdauer eines mit Fluoreszein gefärbten Tropfens etwa 8 Stunden beträgt. Je größer die Beschickungsmenge, um so geringer ist, wie wir regelmäßig feststellen konnten, die Durchtrittszeit.

Wenn nun das Filter bei Beschickung mit einem Intervall von 10 Minuten auf einmal größere Mengen NH_4Cl -Lösung zugeführt bekommt und mehr noch mit einem Intervall von 1, 2 und mehr Stunden, so verringert sich die Durchtrittszeit bis auf $\frac{1}{2}$ Stunde und weniger.

Die nitrifizierenden Bakterien wirken also auf die NH_4Cl -Lösung einmal 8 Stunden, das andere Mal nur $\frac{1}{2}$ Stunde, da ja die Wasserkapazität des arbeitenden Körpers maximal ist. Daß sie in kürzerer Zeit weniger NH_4Cl -Stickstoff zu N_2O_5 umsetzen, als in mehrstündiger Arbeit, bedarf wohl keiner weiteren Erörterung.

Diese Versuche Stoddarts mit einer nicht oder nur wenig absorbierbaren Chlorammoniumlösung sind aber nicht geeignet, gegen eine Theorie ins Feld geführt zu werden, die sich mit dem Verhalten leicht absorbierbarer, größtenteils hochmolekularer organischer Substanzen befaßt, wie sie im Abwasser vorhanden sind. Hätte er mit diesen, so z. B. mit Abwasser selbst oder auch mit verdünnten Eiweißlösungen gearbeitet, so wären seine Versuche zu einem anderen Ziel gekommen.

Wir haben in einem Versuch folgende Anordnung getroffen.

Ein vorher durch Waschen und Ausglühen sterilisierter Körper wurde mit einer Reinkultur von *Bac. nitrobakter.*, die uns Stoddart in Gipslösung freundlichst überließ, infiziert. Nach etwa 5 bis 8 Tagen hatte dasselbe die Eigenschaft bekommen, NH_4Cl -Lösung, mit der das Filter sofort nach der Infektion kontinuierlich beschickt wurde, zu N_2O_5 umzusetzen. Die Leistungsfähigkeit steigerte sich allmählich, wie folgende Übersicht zeigt:

Es wurden zu N_2O_5 umgesetzt am	1. Tag	0 Proz. NH_3	bei einer gleichbleibenden Beschickungsgröße von durchschnittlich 60 ^{ccm} NH_4Cl -Lösung (1 : 100 000) pro 24 Stunden auf 600 ^{ccm} Filter.
desgl.	„ 2. „	Spuren „	
„	„ 3. „	8.2 Proz. „	
„	„ 4. „	46.9 „ „	
„	„ 5. „	89.1 „ „	
„	„ 6. „	90.8 „ „	
„	„ 7. „	98.0 „ „	
„	„ 8. „	100 „ „	
„	„ 9. „	100 „ „	
„	„ 10. „	100 „ „	
„	„ 11. „	100 „ „	

Nach 8 Tagen war also die größte Leistungsfähigkeit erzielt, auf der der Körper sich hielt. Er wurde nun mit Wasser so lange durchgespült, bis der Ablauf frei von NH_3 und N_2O_3 und N_2O_5 wurde; das war nach 3 bis 4 stündigem Waschen der Fall. Erfolgte nun eine Beschickung

wiederum mit NH_4Cl -Lösung, so war bei gleicher Beschickungsgröße der Ablauf stets frei von NH_3 . Der erste Stickstoff erschien nach 7 bis 8 Stunden wiederum als N_2O_5 . Wurde nun am 18. Tage wiederum mit H_2O gewaschen und an Stelle der NH_4Cl -Lösung eine für Stickstoff äquivalente Eiweißlösung auf den Körper gebracht, so wurde diese nicht quantitativ zu N_2O_5 umgesetzt. Vielmehr erschienen nur bis 2 Prozent des Stickstoffes als N_2O_5 . Etwa 89 Prozent des Eiweißstickstoffs erschienen als Eiweiß. Die nitrifizierenden Bakterien konnten also wohl NH_4Cl zu N_2O_5 umsetzen, wurde ihnen aber die gleiche Stickstoffmenge in anderer Form geboten — als Eiweiß — so gelang ihnen das nicht.

Erst nachdem sich auf dem Marmor nach 5 bis 6 tägiger Eiweißbeschickung eine „absorbierende“ Schleimhülle gebildet hatte, wurde auch der Eiweißstickstoff zu N_2O_5 übergeführt.

Wurde nun mit diesem für Eiweiß eingestellten Körper der Eiweißzufluß kontinuierlich und anderseits intermittierend eingestellt, so ergaben sich für beide Verfahren kaum meßbare Unterschiede, wie folgender Versuch zeigt:

Nach dem 4 stündigen Auswaschen des eingearbeiteten Filters im fließenden Strom der Wasserleitung wurde dasselbe mit NH_4Cl -Lösung 1 N : 100 000 H_2O beschickt. Die Fähigkeit NH_4Cl zu nitrifizieren, erwies sich als ungeschwächt durch den Waschprozeß. Es folgte nun Einstellung der Serumeiweißlösung durch Bestimmung des N-Gehalts nach Kjeldahl und anschließende Verdünnung mit 10·6prozentiger NaCl -Lösung bis zu einem Gehalt von 1 N in 100 000 10·6 prozentiger NaCl -Lösung. 7 bis 8 Stunden nach der Beschickung erschien das erste N_2O_5 im Ablauf, gleichzeitig das erste durch Kochen nachweisbare Eiweiß.

Es waren von dem Eiweißstickstoff oxydiert:

	In Prozent		In Prozent
Nach 1 Tage zu N_2O_5 . . .	2·8	zu N_2O_5	2·0
„ 2 Tagen dgl. . . .	2·3	dgl.	2·3
„ 3 „ „ . . .	1·5	„	19·2
„ 4 „ „ . . .	2·6	„	51·5
„ 5 „ „ . . .	5·4	„	87·3
„ 6 „ „ . . .	Spuren	„	95·6
„ 7 „ „ . . .	Spuren	„	96·9

Dieser Versuch ergab in 6facher Wiederholung im Prinzip das gleiche Resultat.

Bei der letzten Versuchsanordnung wurde also ein mit nitrifizierenden Bakterien infiziertes Filter, das auf der Höhe seiner Leistungsfähigkeit steht, mit einer äquivalenten Stickstofflösung — in absorbierbarer Form —

beschießt. Kämen zur Umsetzung des Stickstoffes nur die nitrifizierenden Bakterien in Frage, so wäre nicht einzusehen, weshalb diese neue Lösung nicht zu N_2O_5 umgesetzt würde. Es sei denn, daß für die verschiedenen Stickstofflösungen auch verschiedene Bakterienstämme in Frage kämen. Es wäre ja theoretisch wohl denkbar, daß eine Bakterienart mehr auf NH_4Cl -Lösungen, andere auf Harnstofflösungen, andere auf $(NH_4)_2SO_4$, andere auf niedere, andere auf höhere Eiweißkörper einwirken könnten.

Es hätte dann also in unserem obigen Versuche sich die Bakterienart für NH_4Cl zunächst ändern müssen zu einer mit Wirksamkeit auf Eiweißstickstoff. Um diesen Einwand ausschließen zu können, habe ich ein für NH_4Cl -Lösung eingearbeitetes Filter mit einer äquivalenten $(NH_4)_2CO$ -Lösung beschickt; 4 Tage später wurde demselben Filter eine äquivalente $(NH_4)_2SO_4$ -Lösung zugeführt, nachdem es zuvor frei gewaschen war von NH_4Cl ; N_2O_3 ; N_2O_5 .

Es ergab sich dabei folgendes:

Tag 8—12	wurde von der NH_4Cl -Lösung	98 Prozent	} im Mittel zu N_2O_5 N überführt
„ 13—17	„ „ „ $(NH_4)_2CO$	97.5 „	
„ 18—21	„ „ „ $(NH_4)_2SO_4$	98.3 „	
„ 22—25	„ „ „ NH_4Cl	98.1 „	

Es sei ausdrücklich bemerkt, daß der Ablauf 7 bis 8 Stunden und ebenso innerhalb der ersten 20 Stunden nach der Beschickung mit einer neuen Lösung völlig gleiche Mengen zu N_2O_5 umgesetzt hatte. Ein und dieselbe im Körper vorhandene Bakterienart vermochte also drei chemisch verschiedene nicht oder nur wenig absorbierbare äquivalente Stickstofflösungen zu N_2O_5 umzusetzen. Im weiteren habe ich dann im Anschluß an den letzten Versuch das Filter wiederum mit einer äquivalenten Eiweißstickstofflösung beschickt:

Tag 26	{ wurde v. d. Eiweißlösung zu $N_2O_3 + N_2O_5$ umgesetzt }	94.3 Prozent Eiweiß-Stickstoff.
„ 27	desgl.	95.6 „ „
„ 28	„	97.1 „ „
„ 29	„	93.0 „ „
„ 30	„	—
„ 31	„	95.1 „ „
„ 32	„	96.2 „ „
„ 33	„	94.8 „ „
„ 34	„	95.2 „ „
„ 35	„	96.7 „ „

Die ersten 4 Tage im Mittel 95 Prozent, die zweiten 4 Tage im Mittel 95.4 Prozent.

Danach wurde der Körper aufs neue mit der ursprünglichen NH_4Cl -Lösung beschickt.

Es ergab sich nun, daß an:

Tag 36	von der NH_4Cl -Lösung	97 Proz.	zu N_2O_5	Stickstoff	überführt	wurde				
" 37	" "	"	98.2	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
" 38	" "	"	96.4	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "
" 39	" "	"	98.3	" "	" "	" "	" "	" "	" "	" "

Eine erneute Beschickung mit Eiweißlösung ergab einen Abbau an

Tag 40	von	97.8 Prozent	zu $\text{N}_2\text{O}_3 + \text{N}_2\text{O}_5$	Stickstoff
" 41	"	98.2	" "	" "

Obige Annahme, verschiedene Bakterienarten kämen auf die verschiedenen Stickstofflösungen zur Wirkung, besteht also nicht zu Recht.

Die nitrifizierenden Bakterien und ihre Wirksamkeit hängen indessen bedeutend ab von der Art des Nährbodens, auf dem sie vor der Beschickung des Körpers kultiviert werden. Diese Tatsache erscheint uns von besonderem Interesse, so daß wir auf eine unserer Versuchsreihen noch eingehen müssen.

Ich bezog vom Kralschen bakteriologischen Museum in Wien eine Schrägagarkultur von *Bact. nitrobakter* und züchtete sie auf Schrägagar weiter. Es handelte sich um unbewegliche kurze Stäbchen, die Anilinfarben nur sehr schwer annahmen; die kleinen, weißlich glänzenden Kolonien zeigten Neigung zum Konfluieren. Die Kulturen hatten also die für *Nitrobakter* angegebenen Eigenschaften. Drei Kulturen wurden mit physiologischer Kochsalzlösung abgeschwemmt und dienten zur Infektion eines vorher sterilisierten Filters. Die Beschickung erfolgte sodann mit der zu allen beschriebenen Versuchen gebrauchten NH_4Cl -Lösung. Trotz 4 Wochen langer Beobachtung konnten wir keine Nitrifikation im Ablauf konstatieren. Diese blieb auch dann aus, wenn die Infektion mit der Abschwemmung von 10 Schrägagarröhrchen oder auch mit Bouillonkulturen von *Bac. nitrobakter* erfolgte.

Im Ablauf dieser Filter konnten wir kulturell in großen Mengen nitrifizierende Bakterien auf Agarplatten züchten. Diese hatten aber durch die Kultur auf stickstoffhaltigen organischen Nährböden ihre Fähigkeit zu nitrifizieren eingebüßt.

In einer Gipslösung (N-frei) von Stoddart gezüchtete nitrifizierende Bakterien — die also anderer Herkunft waren wie obige — vermögen dagegen einen vorher sterilisierten Körper in 3 bis 4 Tagen so zu infizieren, daß derselbe NH_4Cl in großen Mengen zu N_2O_3 umsetzt.

Es bleibt noch eine weitere Versuchsanordnung zu besprechen, die gegen die Stoddartschen Annahmen bezüglich der alleinigen Tätigkeit der Bakterien bei der Nitrifikation spricht: Wenn diese Chlorammoniumlösungen in Marmorkörpern unter Luftzutritt chemisch umbauen können ohne sonstige physikalisch-chemische Prozesse, so müßten sie auch in mehr oder weniger hohem Maße diese Tätigkeit in NH_4Cl -Lösungen, die von einem Luftstrom durchlüftet werden, entfalten können.

Wir nahmen daher Erlenmeyerkolben (Fig. 2b) von 200^{cem} Inhalt, füllten sie mit 100^{cem} NH_4Cl -Lösung und infizierten diese mit Bac. nitrobakter aus Gipskulturen. Weiter nahmen wir Glasröhren von 40^{cm} Länge und 3^{cm} Durchmesser, zogen sie an

einem Ende zur Spitze aus und führten diese an der Außenseite des Rohres hinauf bis zum oberen Rande des Rohres. Danach wurde in das Rohr 100^{cem} NH_4Cl -Lösung gefüllt und diese ebenso wie Erlenmeyerkolben infiziert. Die weite Öffnung wurde mit einem durchbohrten Gummistopfen geschlossen durch den ein Rohr zur Wasserstrahl-Saugpumpe führte (Fig. 2a).

Die Erlenmeyerkolben wurden mit einem doppelt durchbohrten Stopfen geschlossen. Durch diesen führte ein Glasrohr auf den Boden des Kolbens. Durch die zweite Öffnung führte ein kurzes Glasrohr, das ebenfalls mit Saugpumpe in Verbindung stand (Fig. 2b).

Durch Öffnen der Saugpumpe wurden gleichzeitig drei Erlenmeyerkolben und zwei Glasröhren mit NH_4Cl -Lösung durchlüftet, und zwar mit der gleichen Laboratoriumsluft, die auch in die Filterkörper hineindiffundierte. Nach 18 tägiger Durchlüftung fanden sich in den 5 Ge-

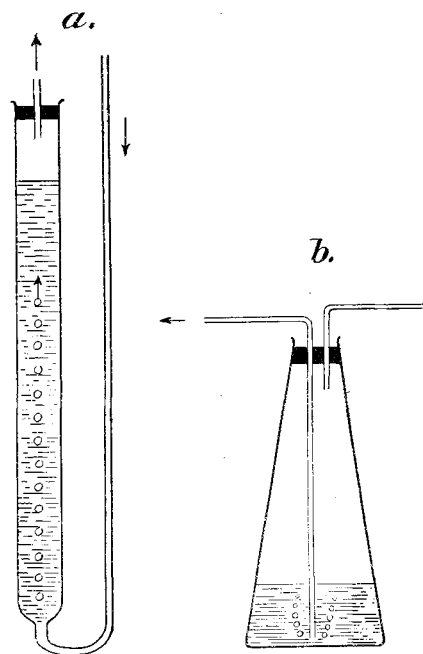


Fig. 2.

fäßen keine N_2O_5 , nur Spuren von N_2O_3 . Sie enthielten im Mittel 98.3 Prozent N als NH_4Cl .

Nach diesen Versuchen scheint die Annahme berechtigt, daß die nitrifizierenden Bakterien in den Nitrifikationskörpern auf besondere physikalisch-chemische Verhältnisse treffen, die ihnen eine Entfaltung ihrer Tätigkeit erst ermöglichen. Für diese Annahme spricht auch die Tatsache, daß ein mit nitrifizierenden Bakterien beschicktes Filter sich erst 3 bis 4 Tage und länger einarbeiten muß, ehe es in nennenswerten Mengen die NH_4Cl -Lösung zu N_2O_5 „nitrifizieren“ kann.

Schlußfolgerungen.

Nach diesen hier berichteten Tatsachen sind wir der Ansicht, daß die Stoddartschen Versuche und Theorien einer Kritik nicht standhalten können.

Seine Versuchsanordnung als solche ist, wie wir ausführten, nicht geeignet, die erforderliche quantitative Zuführung des Zulaufs so genau zu regulieren, als das erforderlich ist.

Die von Stoddart angeführten Versuche, sowohl die von uns als richtig bestätigten, wie die nicht bestätigten Resultate, sprechen nicht gegen die Absorptionstheorie. Dagegen konnten wir weitere Versuche ausführen, deren Ergebnisse nur mit Hilfe der Absorptionstheorie zu erklären sind.

Zur Erklärung der Wirkungsweise der biologischen Abwasserreinigungskörper muß daher an der Dunbarschen Absorptionstheorie festgehalten werden. Die biologischen Prozesse spielen erst dann eine bedeutsame Rolle in der Reinigung des Abwassers, nachdem die physikalisch-chemischen Vorgänge in den biologischen Körpern stattgefunden haben.

Literatur-Verzeichnis.

1. F. Wallis Stoddart, *Nitrification and the absorptions theory; an account of the princip of the mod. sewage filters*. Bristol 1911.
 2. Dunbar, *Leitfaden der Abwasserreinigung*. II. Aufl. München 1913.
 3. O. Kammann, vgl. Dunbar.
-