

G. 56

59

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298418

x
301

Angew. 18/7 03

Überreicht von den Verfassern

W
Wing

Versuche

über die

Reinigung der Abwässer von Tempelhof bei Berlin

durch das biologische Verfahren.

Von

Dr. K. Thumm und Dr. A. Pritzkow.

F. Nr. 26279



Sonder-Abdruck aus

„Mitteilungen d. Kgl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorgung u. Abwässerbeseitigung“.

Heft 2. 1903.

Berlin 1903.

Druck von L. Schumacher.

CG 56
8/59



II 31646

Akc. Nr. 2438/50

Versuche über die Reinigung der Abwässer von Tempelhof bei Berlin durch das biologische Verfahren.

Von

Dr. K. Thumm

und

Dr. A. Pritzkow,

Wissenschaftlichen Mitgliedern der Königl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung
zu Berlin.

(Mit Tabelle I und II.)

I. Einleitung.

Während in England¹⁾ und Amerika seit einer ganzen Reihe von Jahren sich die Auffassung Bahn gebrochen hat, dass es nicht nur möglich, sondern auch wirtschaftlich durchführbar ist, durch das sog. „biologische Verfahren“ die verschiedenartigsten Abwässer sowohl häuslichen wie industriellen Ursprungs in befriedigender und hygienisch einwandfreier Weise zu reinigen, bestehen in Deutschland gegenüber diesem Verfahren zur Zeit noch vielfache Bedenken, teils hinsichtlich des durch dasselbe zu erreichenden Reinheitsgrades, teils bezüglich dessen wirtschaftlich möglicher Durchführbarkeit.

Diese in Deutschland vielfach herrschenden, von den englischen Ansichten grundsätzlich verschiedenen Auffassungen erklären sich durch mancherlei Beobachtungen und Erfahrungen, welche an deutschen, nach

1) Ueber die Ausdehnung, welche das biologische Verfahren in England gefunden hat, gibt Clowes in seinem vierten Berichte „Bacterial Treatment of Crude Sewage“ eine gute tabellarische Zusammenstellung. (London County Council 1902. Jas. Truscott and Son, Ltd., Printers, Suffolk Lane, Cannon Street E. C.)

dem genannten System hergerichteten Anlagen gemacht worden sind. So sah man an diesen Anlagen, dass im allgemeinen nur die kleineren Betriebe und zwar solche in Krankenhäusern, Asylen etc., ferner einige Versuchsanlagen zufriedenstellende Kläreffekte ergaben, dass aber meistens Misserfolge zu verzeichnen waren, sobald einigermaßen grössere biologische Anlagen in Frage kamen. Da nun in den zuletzt erwähnten grösseren Anlagen meist auch konzentrierte, aus Trennsystemen stammende Schmutzwässer zu verarbeiten waren, so lag die Annahme nahe, die ungenügenden Kläreffekte teils auf den umfangreicheren Betrieb derselben, teils auf die hohe Konzentration der zu reinigenden Abwässer zurückzuführen und die günstigen in England und Amerika¹⁾ sowie auch an einigen Orten Deutschlands erzielten Resultate durch einen geringeren Schmutzgehalt der behandelten Wässer zu erklären.

Bei diesen über die Leistungsfähigkeit des biologischen Verfahrens vor 2 Jahren noch mehr als heute verbreiteten verschiedenartigen Auffassungen betrachtete die Kgl. Prüfungsanstalt nach ihrer Begründung im April 1901 es gemäss ihrer Geschäftsanweisung als ihre Pflicht, diesen Fragen näherzutreten und zu ihrer Klärung Untersuchungen mit den verschiedenartigsten sowohl konzentrierteren, wie weniger konzentrierten Wässern in systematischer Weise und nach einheitlichen Gesichtspunkten anzustellen; wozu Berlin mit seinen Vororten und den daselbst sich findenden zahlreichen getrennten Kanalisationssystemen mit ihren im Einzelfalle recht verschiedenen Schmutzwässern günstige Gelegenheit bot.

Solche vergleichenden Prüfungen wurden an den Berliner und Charlottenburger — hier sowohl auf der Pumpstation in Westend, als auf dem Rieselgut Karolinenhöhe bei Gatow — sowie an dem Tempelhofer und Reinickendorfer Abwasser vorgenommen, wobei Ergebnisse erzielt wurden, über welche teilweise schon in dem ersten Hefte dieser „Mitteilungen“ von Thumm²⁾ berichtet ist, und welche es möglich machten, gewisse allgemeine, für die Herstellung und den Betrieb biologischer Anlagen zu beachtenden Gesichtspunkte aufzustellen. Ein Teil dieser nicht unwichtigen Prüfungsergebnisse konnte

1) Bekanntlich ist der Wasserverbrauch in diesen Ländern meistens ein viel höherer als in Deutschland, weshalb man dort im allgemeinen mit dünneren Schmutzwässern zu rechnen hat.

2) Mitteilungen aus der Kgl. Prüfungsanstalt u. s. w. Heft 1. 1902. S. 86.

naturgemäss bei diesen allgemeinen Darlegungen keine erschöpfende Behandlung finden und soll, soweit die Versuche in Tempelhof¹⁾ in Frage kommen, im nachfolgenden ausführlicher besprochen werden.

Dieser Ort war zur Anstellung unserer Versuche aus dem Grunde gewählt worden, weil hier für die Reinigung der Abwässer bereits eine biologische Kläranlage bestand, deren Kläreffekte, soweit sie die biologischen Körper betrafen, wenig befriedigten, und die man fast allgemein nicht auf etwaige fehlerhafte Einrichtungen der Anlage, sondern lediglich auf die hohe Konzentration der daselbst verarbeiteten Schmutzwässer zurückführte.

Bevor wir nun auf unsere Versuche und die hierbei erlangten Ergebnisse näher eingehen, seien folgende, die allgemeinen Verhältnisse betreffenden Angaben, deren Kenntnis wir den liebenswürdigen Mitteilungen des Gemeinde-Baumeisters von Tempelhof, Herrn Maske, zu verdanken haben, vorausgeschickt:

Die im Süden von Berlin gelegene Gemeinde Tempelhof zählt zur Zeit etwa 7000 Seelen. Der Ort wird von der Aktien-Gesellschaft Charlottenburger Wasserwerke mit Grundwasser versorgt, und der Wasserverbrauch betrug im Jahre 1901 60 Liter pro Kopf und Tag²⁾. Die Kanalisation ist nach dem Trennsystem eingerichtet, und zwar fliessen die nur aus Hauswässern bestehenden Schmutzwässer mit natürlichem Gefälle verschiedenen, über den Gemeindebezirk vertheilten Ejektorstationen zu, von denen sie mittels Druckluft nach dem Shone'schen System nach der in unmittelbarer Nachbarschaft des an dem Rixdorfer Weg gelegenen Gemeinde-Friedhofs befindlichen, etwa 2 km vom Mittelpunkt Tempelhofs entfernten Klärstation befördert werden.

Die zwischen 280 und 380 cbm schwankende, im Durchschnitt etwa 320 cbm betragende tägliche Abwassermenge, welche in der Zeit von morgens 5 bis abends 9 Uhr der Reinigungsanlage zugeführt wird, gelangt aus den Druckrohren zunächst in einen Faulraum, der aus 3 hintereinander geschalteten, mit ihren Längsseiten aneinander anliegenden, gleich grossen, mit Bohlen überdeckten Abteilungen besteht

1) Ueber die Versuche auf der Pumpstation in Westend siehe den folgenden Bericht.

2) Nach einer gütigen, von Herrn Direktor Wellmann, Charlottenburg, unter dem 13. Oktober 1902 gemachten Mitteilung.

und einen Gesamtfassungsraum von 300 cbm besitzt. Das Abwasser durchfliesst nacheinander diese drei Abteilungen und gelangt alsdann auf ein in zwei Abteilungen angelegtes Vorfilter und von diesem auf ein gleichfalls zweigeteiltes Nachfilter.

Vor- und Nachfilter waren ursprünglich bei Inbetriebsetzung der Tempelhofer Anlage mit verschiedenartigen Materialien von wechselnder Korngrösse beschickt; zur Zeit unserer Versuche war jedoch sowohl das Material aus dem Vor- wie auch aus dem Nachfilter entfernt worden, und das Abwasser floss aus dem Faulraum ohne Aufenthalt durch das Vorfilter hindurch und sammelte sich in dem Nachfilter. Aus diesem letzteren, während unserer Versuchsperiode also lediglich als Sedimentierbecken dienenden Nachfilter, gelangte das Wasser in eine schmale, längs der Breitseite der Oxydationskörper befindliche Rinne und von hier durch mit Klappen verschliessbare Auslauföffnungen auf die Filterkörper.

Die Tempelhofer Anlage besitzt 4 gleich grosse, insgesamt 1000 cbm nicht gesiebte¹⁾ Koksasche²⁾ enthaltende offene Oxydationskörper, die im Wechselbetrieb mit dem wie eben geschildert vorbehandelten Abwasser beschickt werden. Die Regulierung des Zuflusses erfolgt durch Oeffnen und Schliessen der oben erwähnten, an dem Verteilungskanal angeordneten Klappen, und die gleichmässige Verteilung des Abwassers über das Filtermaterial geschieht durch hölzerne, etwa $\frac{1}{2}$ m über dem Material liegende, seitlich gekerbte Rinnen. Die aus den biologischen Körpern abfliessenden Abwässer unterliegen dann noch einer Nachbehandlung auf einem vornehmlich dem Gemüsebau dienenden Rieselfelde, dessen Drainrohre in einen kleinen, auf dem Gelände selbst befindlichen Teich einmünden, woselbst das gereinigte Wasser teils verdunsten, teils in den Untergrund versickern soll. Für grössere Wasseransammlungen diente ein in geringer Entfernung von dem ersten Teich liegender Reserveteich, nach welchem bei Bedarf ein etwaiger Wasserüberschuss übergepumpt werden konnte.

1) Von uns ausgeführte Korngrösse-Bestimmungen ergaben, dass mehr als die Hälfte des Materials eine Korngrösse von mehr als 10 mm und über 70 % des Materials eine solche über 7 mm besass.

2) Die Koksasche war von der städtischen Gasanstalt Berlin, Gitschinerstr., zum Preise von 2,50 M. pro cbm loco Gasanstalt bezogen; früher war anderes Material, was sich aber nicht bewährt hatte, zum Aufbau der biologischen Körper verwandt worden.

Die Wirkung der 4 Filterbecken war während unserer Beobachtungszeit eine nur wenig befriedigende, während der durch die Nachbehandlung auf dem Rieselfeld erreichte Effekt im allgemeinen als gut bezeichnet werden konnte. Das aus den Oxydationskörpern abfließende Abwasser roch nämlich fast stets stark faulig, mitunter auch deutlich nach Schwefelwasserstoff und zeigte in seiner äusseren Beschaffenheit fast das gleiche Aussehen, wie das Abwasser vor seiner Behandlung durch die biologischen Körper, d. h. wie das aus dem Faulraume ausfließende Rohwasser. Das Rieselwasser dagegen war entweder klar oder nur schwach getrübt, zeigte keinen oder nur schwachen, meistens moorigen Geruch und faulte in keinem von uns beobachteten Falle nach.

Da die Annahme einer genügend raschen Versickerung der geklärten Abwässer in den Teichen sich bald als trügerisch erwies, und bei dem Mangel einer anderweitigen geeigneten Vorflut sich mit der Zeit Schwierigkeiten hinsichtlich einer einwandfreien Ableitung der gereinigten Abwässer einstellten, so trat die Gemeinde-Vertretung von Tempelhof mit der Stadt Berlin in Unterhandlungen ein über die eventuelle Einleitung ihrer Abwässer in die Berliner Kanalisation. Im Juli 1900 wurde ein dementsprechender Vertrag abgeschlossen und im Juli 1902 der Anschluss des Tempelhofer Kanalnetzes an die Berliner Kanalisation mit einem Kostenaufwande von rd. 140000 M. bewirkt. Die Kläranlage ist seit dieser Zeit ausser Betrieb, ist aber vorläufig erhalten geblieben, um im Falle etwaiger Betriebsstörungen in der Berliner Kanalisation, die ein Einleiten der Tempelhofer Abwässer in das Berliner Druckrohr zeitweise unmöglich machen könnten, als Notstation zu dienen.

Wie aus diesen über die allgemeinen Verhältnisse gemachten Angaben hervorgeht, war schon fast 1 Jahr vor Beginn unserer Versuche der Anschluss der Tempelhofer an die Berliner Kanalisation und die Aufgabe der Tempelhofer Kläranlage beschlossene Sache. Trotz dieses Umstandes wurde Tempelhof für die Anstellung unserer Versuche gewählt, da, wie schon weiter oben näher erwähnt, die dortige Kläranlage oft als Beispiel dafür angeführt wird, dass das biologische Verfahren bei einer hohen Konzentration der zu behandelnden Schmutzwässer in seiner Wirkung versagt, und da eine Klärung dieser Verhältnisse im allgemeinen Interesse deshalb wichtig schien.

II. Angaben über die Versuchsanlage und die Art der Versuchsanstellung.

Wie an anderer Stelle¹⁾ schon von uns betont wurde, empfiehlt es sich, bzw. ist es vor Schaffung einer definitiven Anlage in sehr vielen Fällen unerlässlich, an einer Versuchsanlage die im Einzelfalle zweckmässigste und wirtschaftlich vorteilhafteste Art der biologischen Klärung zu ermitteln.

Die Gesichtspunkte, nach denen im einzelnen Falle die Herrichtung einer derartigen Versuchsanlage zu erfolgen hat, werden ebenso, wie bei Schaffung einer definitiven Anlage naturgemäss in weitgehendster Weise durch die jeweils bestehenden örtlichen Verhältnisse beeinflusst; im allgemeinen muss aber jede Versuchsanlage derartig eingerichtet sein, dass in ihr sowohl die zweckmässigste Art der Vorbehandlung der Schmutzwässer vor ihrer Einleitung in die biologischen Körper — also ob Faulverfahren oder Oxydationsverfahren zweckmässiger —, wie auch der empfehlenswerteste Aufbau der Oxydationskörper — Art und Korngrösse des verwendeten Körpermaterials —, sowie der vorteilhafteste Betriebsmodus der biologischen Körper — ob Kontaktverfahren oder kontinuierliches Verfahren — in systematischer Weise geprüft werden kann.

Bei Herrichtung unserer Versuchskörper in Tempelhof wurde eingehend geprüft, in wie weit diese einzelnen Punkte in dem vorliegenden Falle Berücksichtigung zu finden hatten; infolge des Umstandes aber, dass es sich nur darum handelte, die Ursache der wenig befriedigenden Wirkung der Tempelhofer Filterkörper zu ermitteln, d. h. festzustellen, ob konzentriertes, durch einen Faulraum vorbehandeltes Schmutzwasser in der Tat durch Kontaktkörper nicht gereinigt werden könne, beschränkten wir uns unter tunlichster Anlehnung an die in Tempelhof bestehenden Verhältnisse einzig und allein auf die Prüfung des Kontaktverfahrens unter Verwendung des aus dem Faulraume ausfliessenden stark vorgefaulten Abwassers.

Als Füllmaterial für unsere biologischen Körper diente das zu den Tempelhofer Oxydationsbecken benutzte Material, die Koksasche.

Aus äusseren Gründen waren wir nicht in der Lage, unsere Versuche an grösseren Körpern anzustellen; wir mussten uns auf ein-

1) Thumm, l. c. S. 104.

fache Petroleumfässer, die etwa 800 mm hoch waren, einen mittleren Durchmesser — an der weitesten Stelle gemessen — von 600 mm besaßen und etwa 150 Liter fassten, beschränken.

Diese Fässer, im ganzen 5, wurden nach Entfernung des einen Bodens, zwecks gründlicher Reinigung, zunächst ausgebrannt, dann mit Wasser und Bürste sorgfältig geseuert. Sie wurden darauf in verschiedenen Höhenlagen so aufgestellt, dass 3 der Fässer zur Prüfung des doppelten biologischen Verfahrens mit anschließender Sandbehandlung und die beiden übrigen zur Prüfung des einfachen Verfahrens gleichfalls mit Sandnachbehandlung Verwendung finden konnten. Die Anordnung der in der Folge mit I, II und III bezeichneten 3 ersten Fässer, sowie der beiden letzteren mit IV und V bezeichneten Fässer war also eine derartige, dass das in I eingebrachte Schmutzwasser auf Fass II und III, und das in IV eingebrachte Rohwasser auf Fass V aufgeleitet werden konnte.

Jedes Fass war an der Unterkante mit einem Ablasshahn versehen, und eine schwach geneigte Stellung der Fässer sicherte ihre vollständige Entleerung. Um eine Ueberstauung des Materials zu vermeiden, war bei den Fässern I, II und IV in entsprechender Höhe ein Ueberlauf angebracht.

Als Körpermaterial für die primären Oxydationskörper I und IV und den sekundären Versuchskörper II fand, wie bereits erwähnt, die in den Tempelhofer biologischen Körpern sich findende Koksasche nach entsprechender Siebung Verwendung: Eine möglichst sorgfältig entnommene Durchschnittsprobe dieses Materials wurde zunächst durch Abspülen mit reinem Wasser (Grundwasser) von der Hauptmenge des anhaftenden, sehr reichlichen schwärzlichen, stark modrig riechenden Schlammes befreit, dann durch ein Sieb von 8 mm Maschenweite in grobes und feines Material getrennt.

Für die Sandnachbehandlung der Koksabflüsse wurde ein Sand benutzt, aus dem zunächst durch Sieben das über 3 mm grosse Material entfernt wurde, und der dann noch durch häufiges Waschen und Abspülen mit reinem Wasser von den in ihm enthaltenen Tontheilchen fast vollständig befreit war.

Bei der Bemessung der in jedem einzelnen Falle Verwendung findenden Materialmenge wurde von dem Gesichtspunkte ausgegangen, dass die aus einem Körper abfließenden Abwässer nicht nur bequem zur Füllung des nachgeschalteten Körpers ausreichen mussten, sondern dass auch noch ein gewisser Ueberschuss von dem Ablauf vorhanden

war, der für die Zwecke der Analyse und der sonstigen zur Beurteilung der Abflüsse erforderlichen Feststellungen genügte.

Der Aufbau der einzelnen Versuchskörper war demnach folgender:

Fass I wurde mit 120 Liter grober Koksasche — Korngrösse über 8 mm — beschickt, die nach der vorgenommenen Analyse des Materials sich aus folgenden Korngrössen zusammensetzte:

von 10—25 mm	81 %
von 8—10 mm	9 %
unter 8 mm	10 %.

Fass II und IV erhielten eine Füllung von je 100 Liter feiner Koksasche — unter 8 mm —, die mit der Vorsicht in die Fässer eingebracht wurde, dass vor die Auslauföffnung zunächst etwa 1 Liter grobes Material vorgeschichtet wurde, um ein Einschwemmen von feinem Material in den Abflusshahn zu verhüten.

Das feine Koksaschenmaterial setzte sich aus folgenden Korngrössen zusammen:

über 8 mm	8 %
von 4—8 mm	36 %
unter 4 mm	56 %.

Fass III und V dienten zum Aufbau der Sandoxydationskörper, und zwar wurden in jedes Fass unter Anwendung der eben geschilderten Vorsichtsmassregel (Vermeidung des Einschwemmens von Sand in die Ablaufleitung), wozu in diesem Falle grober Kies benutzt wurde, 70 Liter des wie oben vorbehandelten Sandes eingebracht. Eine Korngrössebestimmung dieses Sandes ergab folgende Werte:

von 2—4 mm	7 %
von 1—2 mm	44 %
unter 1 mm	49 %.

Bei der Bedeutung des Eisengehaltes¹⁾ für den jeweils zu erreichenden Reinigungseffekt²⁾ wurde in den verwendeten Materialien das Eisen quantitativ ermittelt und dasselbe für die grobe Koksasche zu 9,4 %, für die feine Koksasche zu 19,6 % und für den Sand zu 0,93 % — sämtliche Werte auf Fe_2O_3 berechnet — bestimmt.

Der Betrieb der Versuchsanlage begann am 24. Mai 1901 und

1) Vergl. u. a. Thumm, l. c. S. 96.

2) Unter „Reinigungseffekt“ haben wir in nachstehendem die Abnahme der gelösten organischen Verbindungen verstanden.

wurde mit unerheblichen Unterbrechungen — Sonntags wurden die Körper z. B. nicht gefüllt — bis zum 8. November desselben Jahres fortgesetzt. Jeder Versuchskörper wurde während dieser Zeit 145 mal beschickt und zwar, von der letzten Betriebswoche abgesehen, 1 mal täglich.

Da eine vergleichsweise Prüfung des einfachen und doppelten biologischen Verfahrens beabsichtigt war, so war die Zeitdauer des Vollstehens im primären und sekundären Körper (Fass I und II) zusammen die gleiche, wie die in dem direkt mit Abwasser beschickten einfachen biologischen Körper (Fass IV) und zwar anfänglich 4 Stunden — Fass I und II je 2 Stunden —, später aber nur noch 3 Stunden — Fass I 1 und Fass II 2 Stunden —. In den beiden Sandkörpern — Fass III und V — hielt sich das Wasser stets eine gleiche Zeit lang auf, zu Anfang $\frac{1}{2}$ Stunde, gegen Schluss der Versuche nur noch wenige Minuten.

Bei Besprechung der einzelnen Versuche kommen wir auf diese Punkte noch näher zurück.

Die Aufnahmefähigkeit der einzelnen Körper wurde etwa wöchentlich ermittelt und ebenso oft auch der durch die einzelnen Körper erzielte Kläreffekt. Die Probenahme erfolgte stets an einem regenfreien Tage bzw. nach einer regenfreien Nacht¹⁾ und zwar in der Weise, dass während des Leerlaufens der Kokskörper in regelmässigen Zeitintervallen kleinere, einander gleiche Mengen Wasser geschöpft und in ein grösseres Sammelgefäss übergeführt wurden, aus welchem dann nach gehöriger Durchmischung die für die Analyse bestimmte Probe entnommen wurde. Die Sandabflüsse wurden direkt in einem geeigneten Gefäss aufgefangen und aus dem Gesamtabfluss das Analysenmuster gezogen.

Da die entnommenen Proben, soweit als erforderlich, sofort nach der Entnahme untersucht, alle übrigen an Ort und Stelle nicht ausführbaren Bestimmungen aber im Laboratorium noch an demselben Tage teils zu Ende geführt, teils soweit vorbereitet wurden, dass Zersetzungen irgend welcher Art ausgeschlossen waren, so dürfen die erlangten Ergebnisse nach jeder Richtung hin als zuverlässig gelten.

1) Da die Körper im Freien ohne Bedachung aufgestellt waren, so wurde die während des Leerstehens gebildete Salpetersäure durch niedergehenden Regen ziemlich weitgehend ausgewaschen. Eine unter solchen Verhältnissen vorgenommene Probeentnahme hätte in Bezug auf die Beschaffenheit der Abflüsse ganz anormale Resultate ergeben.

Bezüglich der bei den physikalischen und chemischen Untersuchungen von uns eingehaltenen Methoden sei noch mitgeteilt, dass wir im allgemeinen mit geringen Abweichungen nach den im Hamburger hygienischen Institute gebräuchlichen Verfahren gearbeitet haben, die kürzlich von Farnsteiner, Buttenberg und Korn¹⁾ veröffentlicht worden sind. Zur Ermittlung des Keimgehaltes hielten wir uns an die seitens des Kaiserlichen Gesundheitsamtes gegebenen Vorschriften²⁾. Als Nährboden wurde die dort angegebene Fleischextrakt-Gelatine benutzt; die Bebrütung der Platten erfolgte bei 22° C., und das Zählen der Kolonien wurde nach 48 Stunden mit Hilfe einer Lupe vorgenommen. Zur Ermittlung der einzelnen Bakterienarten wurden die Platten selbstverständlich entsprechend längere Zeit aufbewahrt.

Nach Beendigung des Betriebes unserer Versuchsanlage im November 1901 wurde behufs Ermittlung der während der Dauer unserer Versuche in den einzelnen Körpern angesammelten Schlamm-massen eine Entschlammung der einzelnen Materialien vorgenommen. Zu dem Zwecke wurde das Material dreimal mit der gleichen Menge reinen Wassers gründlich durchgerührt und sofort, ohne dem abgespülten Schlamm Gelegenheit zur Sedimentation zu geben, auf ein Sieb von entsprechender Maschenweite aufgegossen. Der nach zwölfstündigem Stehen abgesetzte „sedimentierte Schlamm“ wurde gemessen, dann auf ein Faltenfilter aufgegeben und nach 24 stündigem Abtropfen die Menge des abgeflossenen Wassers bestimmt. Der so erhaltene „drainierte Schlamm“ wurde dann nach den für derartige Untersuchungen üblichen Methoden analysiert.

Ausser der chemischen und bakteriologischen Prüfung des Abwassers und der Versuchskörper wurden entsprechende botanisch-zoologische Untersuchungen vorgenommen, deren Ergebnisse, soweit als notwendig, im nachstehenden Verwendung finden, im übrigen aber an anderer Stelle besprochen werden sollen.

III. Beschaffenheit des für die Versuche verwendeten Abwassers.

Wie vorstehend des näheren ausgeführt ist, wurde das aus dem Faulräume der Tempelhofer Anlage ausfliessende Abwasser

1) Leitfaden für die chemische Untersuchung von Abwasser von Dr. K. Farnsteiner, Dr. P. Buttenberg, Dr. O. Korn. München und Berlin. Druck und Verlag von R. Oldenbourg. 1902.

2) Veröffentlichungen des Kaiserl. Gesundheitsamtes. 1899. S. 108.

zur Füllung unserer Versuchskörper I und IV benutzt. Die Entnahme erfolgte jeweils aus den etwa $\frac{1}{2}$ m über dem Füllmaterial der Tempelhofer biologischen Körper liegenden hölzernen Verteilungsrinnen, also hinter dem sogenannten Nachfilterbecken.

Dieses von uns auf seine Reinigungsmöglichkeit durch das biologische Verfahren geprüfte Abwasser, nachstehend kurz als „Rohwasser“ bezeichnet, zeigte in den meisten Fällen das Aussehen von Abflüssen, wie sie bei gut eingearbeiteten Faulräumen beobachtet werden: Es war sehr stark trübe, von meist schmutzig-schwärzlicher Farbe, von stark fäkalartig fauligem und intensivem Schwefelwasserstoffgeruch und besass eine Durchsichtigkeit, welche zwischen 1,2 und 1,7 cm schwankte und im Mittel 1,4 cm betrug.

Der Schwefelwasserstoffgehalt dieser Wässer bewegte sich in den Grenzen von 11 bis 17 mg und wurde im Mittel zu 14 mg pro Liter festgestellt.

Bei längerem Stehen der Proben in offenen und geschlossenen Flaschen (bei Zimmertemperatur) trat auch nach 10 Tagen noch keine vollständige Klärung der Flüssigkeiten ein; offen, d. h. unter Luftzutritt aufbewahrt, war nach dem genannten Zeitraume der ursprünglich im Rohwasser in reichlicher Menge sich findende Schwefelwasserstoff meist nicht mehr nachweisbar, und an Stelle des fäkalartig fauligen Geruches war öfters ein schwach faulig mooriger Geruch getreten; in den geschlossenen Flaschen — also unter Luftabschluss — hatten dagegen nach der erwähnten Beobachtungszeit sämtliche Proben den stark fauligen Geruch noch nicht verloren, und Schwefelwasserstoff war in starker Reaktion in allen Fällen nachweisbar.

Wurden die Rohwässer mit Leitungswasser in dem Verhältnis von 1 : 50 verdünnt und in diesem Zustande bei Zimmertemperatur aufbewahrt, so war trotz dieser hohen Verdünnung noch mehrere Tage lang ein deutlich jauchiger Geruch wahrnehmbar, der erst nach längerem Stehen einem modrigen Geruch Platz machte. Ein Unterschied zwischen den offenen und geschlossen aufbewahrten Proben wurde in diesem Falle nicht beobachtet. Bei einer geringeren Verdünnung des Rohwassers mit Leitungswasser (z. B. 1 : 15) konnte auch nach 10 Tagen noch ein deutlich jauchiger Geruch konstatiert werden, aber im Gegensatze zum unverdünnten Rohwasser wurde Schwefelwasserstoff hierbei in keinem Falle beobachtet.

Die Reaktion des Rohwassers war, bei der Entnahme bestimmt,

schwach alkalisch und änderte sich nicht, auch wenn die Proben längere Zeit aufbewahrt wurden.

Der Gehalt an Schwebestoffen war, wie aus der Zusammenstellung in Tabelle I (am Ende dieses Heftes) hervorgeht, ein für aus Faulräumen stammende Abflüsse ziemlich hoher¹⁾; er schwankte zwischen 162 und 378 mg im Liter und betrug im Mittel 250 mg. Bemerkenswert ist der Umstand, dass die Hauptmenge der Schwebestoffe — über 85 % nach dem Mittelwert berechnet — organischer Natur war.

Die für den Gesamt-Abdampfrückstand gefundenen Zahlen lagen zwischen 1135 und etwa 1400 mg (Mittelwert 1254); der Glührückstand (die anorganischen Stoffe) schwankte zwischen etwa 700 und 870 mg und der Glühverlust (die organischen Stoffe) zwischen etwa 400 und 530 mg.

Entsprechend der Herkunft des Rohwassers — Abfluss aus einem Faulraum — bestand der weitaus grösste Teil der in demselben ermittelten Stickstoffverbindungen aus Ammoniakstickstoff — 116 mg im Mittel —, und nur relativ geringe Mengen waren als organischer Stickstoff — 26 mg im Mittel — vorhanden. Nitrate und Nitrite fehlten in dem Rohwasser, bedingt durch die Art der Vorbehandlung, vollständig. Bezüglich der für Chlor, für die Kohlensäure, für Eisen und Kalk ermittelten Werte, die bei den einzelnen Versuchen näher besprochen werden sollen, sei auf Tabelle I verwiesen; ebenso auch bezüglich des Kaliumpermanganatverbrauches sowie des in dem Rohwasser ermittelten Keimgehaltes.

Zusammenfassend kann man sich auf Grund der angestellten Untersuchungen über den Charakter des zu den Versuchen verwandten Rohwassers dahin äussern, dass sich dasselbe als ein Schmutzwasser von beträchtlicher Konzentration darstellt, das im allgemeinen die für Abflüsse aus Faulräumen charakteristischen Eigenschaften: reichliche Mengen von Schwefelwasserstoff, weitgehenden Abbau der organischen Stickstoffverbindungen zu Ammoniak, hohen Gehalt an Kohlensäure aufweist. Im Gegensatz zu diesen für aus Faulräume stammende Abflüsse cha-

1) Diese für Faulraumabflüsse hohen Werte erklären sich unseres Erachtens ohne weiteres, wenn man die Konstruktion des in Tempelhof sich findenden Faulraumes in Berücksichtigung zieht; von einer Besprechung desselben sei aber an dieser Stelle, als über den Rahmen vorliegender Arbeit hinausgehend, Abstand genommen.

rakteristischen Eigenschaften steht der hohe Gehalt der Rohwässer an Schwebestoffen, der aber in zwangloser Weise durch die besondere Konstruktion des Tempelhofer Faulraums erklärt werden kann.

IV. Beschreibung der einzelnen Versuche.

Wie schon oben S. 133 und 135 erwähnt, war die Anordnung unserer Versuche so getroffen worden, dass sowohl das doppelte wie auch das einfache biologische Verfahren, in jedem Fall mit anschliessender Sandnachbehandlung, geprüft werden konnte. Die Versuche, deren Ergebnisse im nachstehenden beschrieben werden sollen, zerfielen demgemäss in folgende zwei Versuchsreihen:

- Versuchsreihe 1: Doppeltes biologisches Verfahren mit Sandnachbehandlung:
 Versuchskörper I: Primärer (grobkörniger) Oxydationskörper,
 Versuchskörper II: Sekundärer (feinkörniger) ,,
 Versuchskörper III: Tertiärer (Sand-) ,,
- Versuchsreihe 2: Einfaches biologisches Verfahren mit Sandnachbehandlung:
 Versuchskörper IV: Primärer (feinkörniger) Oxydationskörper,
 Versuchskörper V: Sekundärer (Sand-) ,,

Versuchskörper I: Primärer (grobkörniger) Oxydationskörper. Korngrösse des Materials 8—25 mm.

Der Versuchskörper wurde in der Zeit vom 24. Mai bis 8. November 1901 145 mal, meistens einmal am Tage, mit Rohwasser beschickt. Die Dauer des Vollstehens belief sich bis zum 25. September auf 2 Stunden und von dieser Zeit an bis zum Ende der Versuche nur noch auf 1 Stunde. Ein nennenswerter Unterschied hinsichtlich des erreichten Kläreffektes durch das kürzere oder längere Vollstehen des Körpers war hierbei nicht zu beobachten; ebenso machte es auch keinen wesentlichen Unterschied bezüglich des Klärerfolges, ob die Füllung einmal oder ob sie zweimal am Tage geschah. Die während der Versuchszeit erlangten Untersuchungsergebnisse erfahren demgemäss im nachstehenden eine einheitliche Besprechung ohne besonderen Hinweis auf die jeweilige Dauer des Vollstehens oder die Anzahl der täglichen Füllungen.

Was zunächst die qualitative Leistungsfähigkeit des Versuchskörpers und hier wieder zuerst die grobsinnlich wahrnehmbaren

Eigenschaften der Abflüsse anlangt, so ergaben die Versuche, dass die äussere Beschaffenheit der Abflüsse gegenüber derjenigen der Rohwässer sich nur wenig geändert hatte.

Die ebenso wie das Rohwasser stets schwach alkalisch reagierenden Koksascheabflüsse waren noch stark getrübt, von schmutziggelblicher bis grauer Farbe, enthielten reichlichen grauen Bodensatz und besaßen in den meisten Fällen einen deutlich fäkalartigen bis fauligen Geruch; im Gegensatze zu den Rohwässern war Schwefelwasserstoff nur selten und dann stets nur in geringen Mengen nachweisbar.

Die Durchsichtigkeitsbestimmungen der gut durchgeschüttelten Proben ergaben gegenüber denen des Rohwassers in allen Fällen eine Zunahme. Die Durchsichtigkeit, welche zwischen 1,9 und 2,7 cm schwankte, betrug im Mittel 2,5 cm, während die mittlere Durchsichtigkeit des Rohwassers zu 1,4 cm ermittelt wurde.

Die äussere Beschaffenheit der Abflüsse aus dem grobkörnigen Oxydationskörper erlitt beim Aufbewahren der Proben bemerkenswerte Veränderungen. Die sowohl in geschlossenen — also unter Luftabschluss — wie offenen Flaschen — unter Luftzutritt — bei Zimmertemperatur aufbewahrten Proben zeigten nämlich fast ohne Ausnahme am zweiten oder dritten Tage deutliche Fäulnisercheinungen unter Bildung reichlicher Schwefelwasserstoffmengen. Nach 10 Tagen war eine weitere Veränderung der Proben insofern zu beobachten, als die ursprünglich trüben Wässer ziemlich klar geworden waren unter Bildung einer die Oberfläche überziehenden dicken, fast ausschliesslich aus Zoogloen bestehenden Schwimmhaut. Die in geschlossenen Flaschen aufbewahrten Proben rochen alsdann immer noch deutlich nach Schwefelwasserstoff und zeigten in vielen Fällen eine durch Schwefeleisen bedingte Schwarzfärbung, während die unter Luftzutritt in offenen Flaschen aufbewahrten Proben meistens frei von Schwefelwasserstoff sich erwiesen, in manchen Fällen sogar einen deutlich moorigen, also keinen fauligen Geruch mehr und nur selten eine schwärzliche Farbe erkennen liessen.

Wurden die frischen Abflüsse mit der doppelten bis dreifachen Menge reinen Wassers verdünnt und bei Zimmertemperatur in offenen Flaschen stehen gelassen, so verlor sich schon nach 1 bis 2 Tagen der ursprünglich vorhandene jauchige Geruch und machte einem mehr modrigen und schliesslich erdigen Geruche Platz; Fäulnisercheinungen irgend welcher Art, Schwefelwasserstoffbildung u. s. w. traten also bei derartigen Verdünnungsgraden in keinem Falle auf.

Vergleicht man die vorstehend geschilderten Eigenschaften der Abflüsse aus dem mit grobkörnigem Koks gefüllten Versuchskörper mit denen des Rohwassers, so ergibt sich, dass trotz der anscheinend geringen Aenderung, welche das Rohwasser in bezug auf seine äussere Beschaffenheit durch seinen Aufenthalt in dem grobkörnigen primären Körper erlitten hatte, hinsichtlich seiner Fäulnisfähigkeit eine nicht unerhebliche Verminderung bewirkt worden war.

In Uebereinstimmung mit der geringeren Fäulnisfähigkeit der Koksabflüsse standen die durch die Analyse ermittelten Ergebnisse. So zeigte der Glühverlust des Abdampfrückstandes (die organischen Stoffe) im Mittel eine Verminderung um etwa 30 %; der organische Stickstoff erlitt ebenfalls eine Abnahme um etwa 30 % und der Kaliumpermanganatverbrauch eine solche um 25 %. Die Herabsetzung war also bei den drei vorgenannten für die Beurteilung des Kläreffektes von uns gewählten Indikatoren eine ziemlich gleichmässige, sodass die von Dunbar und Thumm ausgesprochene Ansicht¹⁾, dass jede der vorstehend aufgeführten 3 Ermittlungen zu dem vorgenannten Zwecke in gleicher Weise Verwendung finden kann, auch in dem vorliegenden Falle sich als zutreffend erwiesen hat.

Im einzelnen haben die Analysen folgendes ergeben:

In bezug auf die Schwebestoffe zeigte es sich, dass dieselben entsprechend der erhöhten Durchsichtigkeit der Abflüsse aus dem Koks-körper gegenüber denjenigen des Rohwassers eine gewisse Verminderung erfahren haben, die, wie aus Tabelle I hervorgeht, im Mittel etwa 45 % betrug. Die minimalen und maximalen Werte der gesamten Schwebestoffe schwanken, wie die Tabelle zeigt, zwischen 108 und 171 mg und der Glühverlust der Schwebestoffe zwischen 93 und 136 mg. Die Schwebestoffe der Abflüsse aus dem primären Körper waren also ebenso wie die des Rohwassers zum weitaus grössten Teile organischer Natur.

Die Gesamtmenge des Abdampfrückstandes hatte sich gegenüber der des Rohwassers nur wenig verändert. Hinsichtlich des Verhältnisses der anorganischen zu den organischen Stoffen war jedoch eine nicht unbedeutliche Verschiebung und zwar insofern eingetreten, als

1) Dunbar und Thumm, Beitrag zum derzeitigen Stande der Abwasserreinigungfrage. München und Berlin. R. Oldenbourg. 1902. S. 17.

die ersteren Stoffe eine Vermehrung und die letztgenannten, die organischen Verbindungen, eine Verminderung um etwa 30 % erfahren haben.

Die in den Abflüssen aus dem grobkörnigen Kokskörper ermittelten Stickstoffverbindungen zeigten, mit den im Rohwasser vorhandenen Mengen verglichen, durchweg eine Verminderung. So nahm der Gesamtstickstoff im Mittel um etwa 30 %, der Ammoniakstickstoff um über 30 % und der organische Stickstoff (vergl. oben) um etwa 30 % ab.

Trotz dieser Herabsetzung des Ammoniakgehaltes und des organischen Stickstoffs zeigten die Abflüsse aus dem grobkörnigen Kokskörper in den meisten Fällen keine Reaktion auf Nitrate und Nitrite. Gleichwohl wurden während des Leerstehens des Körpers, ebenso wie bei Versuch IV, bei dem wir auf diesen Punkt wieder zurückkommen werden, Nitrate fort-dauernd in nicht unerheblichen Mengen gebildet, die aber während des nachfolgenden Vollstehens des Körpers immer wieder reduziert wurden. Wir verweisen in dieser Beziehung auf die Versuche von Hatton¹⁾ und die Untersuchungen von Letts und Blake²⁾, durch die in solchen und ähnlichen Fällen eine Reduktion der Nitrate selbst bis zu freiem Stickstoff festgestellt worden ist.

Während die für Ammoniak und den organischen Stickstoff ermittelte Herabsetzung häufigen Schwankungen unterworfen war, zeigte die Verminderung des Kaliumpermanganatverbrauches eine gewisse Konstanz und betrug, wie bei Besprechung des Kläreffektes schon erwähnt, im Mittel etwa 25 %.

Der Chlorgehalt der Abflüsse war von dem des Rohwassers nur wenig verschieden. Auch die für Kohlensäure erhaltenen Zahlen zeigten, mit denen des Rohwassers verglichen, im allgemeinen keine bedeutenden Abweichungen.

Der Kalkgehalt der Abflüsse liess entsprechend der Zunahme der im Abdampfückstand ermittelten anorganischen Bestandteile meistens eine geringe Zunahme gegenüber den im Rohwasser ermittelten Werten erkennen.

Eisen konnte in den Abflüssen fast stets, immer aber nur in ganz geringen Mengen nachgewiesen werden.

1) Chem. Soc. Journal May 1881 „Action of Bacteria on Gases“ and „Reduction of Nitrates by Sewage.“

2) Chemical News 1901, No. 2184, S. 161; sowie auch Centralblatt für allgem. Gesundheitspflege. 1901. S. 418.

Der Keimgehalt war gegenüber dem im Rohwasser ermittelten Gehalte an Mikroorganismen zurückgegangen, aber nur hinsichtlich der Zahl, nicht der Art der Organismen. Die Kulturplatten zeigten ein ähnliches Bild wie die mit Rohwasser beschickten Platten, und unter den entwickelten Kolonien waren sowohl Gelatine verflüssigende wie nichtverflüssigende in grosser Vielgestaltigkeit zur Entwicklung gekommen.

Inbezug auf die quantitative Leistungsfähigkeit des Körpers ist zu erwähnen, dass seine Aufnahmefähigkeit sich bei der zehnten Füllung auf 433 Liter pro 1 cbm Material, bei der hundertsten Füllung nur noch auf etwa 390 Liter belief; zu Ende des Versuches war die Aufnahmefähigkeit weiter gesunken, und der Körper nahm nur noch 364 Liter Wasser pro 1 cbm Material auf; die Aufnahmefähigkeit der grobkörnigen Koksasche war also nach 145 Füllungen um etwa 16 % zurückgegangen.

Bei Ausserbetriebsetzung des Körpers erwies sich derselbe von oben bis unten gleichmässig und zwar ziemlich stark verschlammmt. Das Material zeigte einen intensiven Erdgeruch; Fäulnisgeruch oder eine durch Schwefeleisen bedingte Schwarzfärbung des Materials war nicht zu beobachten.

Bei der Entschlammung des Materials, welche nach der oben beschriebenen Methode (S. 136) vorgenommen wurde, erhielten wir nach 4 stündiger Sedimentierung des Schlammwassers, auf 1 cbm Material berechnet, über $67\frac{1}{2}$ Liter sedimentierten Schlamm.

Die Aufnahmefähigkeit des Körpermaterials war durch die Entschlammung auf 444 Liter pro 1 cbm Material hinaufgegangen, war also etwas höher, als vor Beginn unseres Versuches (433 Liter).

Der Materialverlust, welcher durch das Waschen der Koksasche erlitten wurde, betrug etwa 5 %; eine wesentliche Aenderung der Korngrösse nach erfolgter Waschung konnte nicht festgestellt werden.

Der bei der Entschlammung erhaltene sedimentierte Schlamm verlor, auf ein Filter gebracht, innerhalb 20 Stunden 41,8 % seines Wassergehaltes; die Menge des drainierten Schlammes belief sich demnach, pro cbm Material berechnet, auf 39,4 Liter. Der drainierte Schlamm war von schwärzlich-grauer Farbe, enthielt zahlreiche feine Kokspartikelchen und zeigte beim Aufbewahren, sowohl in offenen wie geschlossenen Flaschen, keine Andeutung irgendwelcher Fäulniserscheinungen, obgleich die Hauptmasse seiner festen Bestandteile,

wie die Analyse ergab, aus organischer Substanz bestand (organische Substanz 65 %, Asche nur 35 %).

Die Zusammensetzung des aus dem grobkörnigen Kokskörper erhaltenen Schlammes ist aus Tabelle II (am Schluss des Heftes) ersichtlich. Wie aus dieser hervorgeht, enthielt auch noch der drainierte Schlamm recht beträchtliche Wassermengen — 74,2 % —, so dass also der Gesamtwassergehalt des ursprünglich durch einfaches Sedimentieren des Schlammwassers erhaltenen sedimentierten Schlammes zu rund 85 % anzusetzen ist.

Versuchskörper II: Sekundärer (feinkörniger) Oxydationskörper. Korngrösse des Materials 3—8 mm.

Der zu Versuch II verwandte, aus feinkörnigem Material aufgebaute Oxydationskörper wurde ebenso wie der vorbeschriebene Körper I während der Versuchszeit — 24. Mai bis 8. November 1901 — 145 mal und zwar meistens 1 mal täglich mit Abwasser beschickt, aber nicht wie Versuchskörper I mit Rohwasser, sondern mit den Abflüssen aus dem vorbeschriebenen grobkörnigen Oxydationskörper.

Die nachstehend mitgeteilten Ergebnisse sind also durch Behandlung des Rohwassers zuerst in grobkörnigem und dann in feinkörnigem Material, mithin durch doppelte Behandlung, erzielt worden.

Die Dauer des Vollstehens betrug während der ganzen Versuchsperiode je 2 Stunden, die des Leerstehens — bei 1 mal täglicher Füllung des Körpers — mithin jedesmal 22 Stunden.

Die aus dem Koksascheoxydationskörper II erhaltenen Abflüsse zeigten hinsichtlich ihrer äusseren Beschaffenheit sowohl gegenüber der des Rohwassers wie der aus dem Körper I stammenden Abflüsse ein wesentlich besseres Aussehen: Statt der bei diesen beiden Wässern beobachteten sehr starken Trübung waren die bei Versuch II erlangten, gleichfalls schwach alkalisch reagierenden Abflüsse nur wenig getrübt, und ihre Durchsichtigkeit belief sich im Mittel auf 6 cm (Mittelwerte für Rohwasser 1,4 cm und für die Abflüsse aus Versuchskörper I 2,5 cm); die ursprünglich vorhandene schmutziggelbe Farbe des Rohwassers war verschwunden, und die Abwässer besaßen eine mehr graue Farbe, meist mit einem leichten Stich in gelb.

Eine weitere durchgreifende Aenderung machte sich bezüglich des Geruches bemerkbar. Während die Abflüsse aus dem Körper I meist deutlich fäkalartig bis stark faulig rochen, besaßen die Wässer nach

Passieren des sekundären Koksaschekörpers einen ausgesprochen moorigen Geruch; in keinem Falle konnte ein fauliger Geruch beobachtet werden.

Eine Verschlechterung des Geruches machte sich auch nicht bemerkbar, wenn die Proben längere Zeit bei Zimmertemperatur stehen blieben, und die bei Luftabschluss oder bei Luftzutritt aufbewahrten Proben verhielten sich in dieser Beziehung völlig gleich. In beiden Fällen machte der ursprünglich vorhandene moorige Geruch bald einem Erdgeruch Platz, der beim längeren Aufbewahren der Proben entweder bestehen blieb oder, was meistens der Fall war, fast vollständig verschwand, sodass das Wasser alsdann nahezu geruchlos war.

Im Gegensatze zu den Abflüssen aus dem Körper I war also durch deren weitere Behandlung in feinkörnigem Material in sämtlichen von uns beobachteten Fällen die Fäulnisfähigkeit den doppelt behandelten Abwässern vollständig genommen worden.

Bei dem Aufbewahren der Proben, sei es in offenen, sei es in geschlossenen Gefässen, konnten ausser den Geruchsveränderungen auch hinsichtlich des Aussehens der Proben bemerkenswerte Veränderungen festgestellt werden: Unter Abscheidung eines geringen, sowohl aus anorganischen wie organischen Stoffen bestehenden Niederschlages (Calcium-, Magnesium-, Eisen-, Phosphorsäureverbindungen, Seifen u. s. w.) wurden nach mehrtägigem Stehen die Wässer klar und nahezu farblos. Bakterienwucherungen (Zoogloenhäute) oder eine Schwarzfärbung der Proben konnte in keinem Falle beobachtet werden, sodass auch hierdurch sich die Proben von dem Rohwasser und den Abflüssen aus dem grobkörnigen Material wesentlich unterschieden.

In Uebereinstimmung mit der Besserung der äusseren Beschaffenheit des Abwassers durch seine Behandlung in feinkörnigem Material standen die erhaltenen analytischen Befunde.

Was zunächst die als Indikatoren für die Beurteilung des Reinigungseffektes dienenden Bestimmungen anlangt, so zeigte sich, dass der Glühverlust des Abdampfrückstandes — auf Rohwasser berechnet — um etwa 40 %, der organische Stickstoff im Mittel um etwa 70 % und der Kaliumpermanganatverbrauch um etwa 50 % herabgesetzt wurden, sodass im allgemeinen auch hier, ebenso wie es schon bei Versuchskörper I ausgesprochen ist, alle 3 Bestimmungen bzw. die durch sie dokumentierten Veränderungen des Wassers in gleicher

Weise für die praktische Beurteilung des Reinigungseffektes als brauchbar herangezogen werden können.

Was dann die weiteren analytischen Befunde und zwar zuerst die Schwebestoffe betrifft, so schwankten diese, wie aus Tabelle I hervorgeht, in ihrer Gesamtmenge zwischen 25 und 83 mg im Liter und betragen im Durchschnitt 45 mg im Liter; gegenüber den bei Versuch I erhaltenen Abflüssen war also eine Abnahme von über 65 % oder, auf Rohwasser berechnet, von über 80 % zu verzeichnen. Ebenso wie bei dem Rohwasser und bei den Abflüssen aus Körper I war auch bei dem in Rede stehenden Versuch die Hauptmasse der Schwebestoffe organischer Natur. (Durchschnittswerte: Gesamtschwebestoffe 45 mg, Glühverlust der Schwebestoffe 35 mg, mithin rund 78 % organische Stoffe.)

Der Abdampfrückstand zeigte bei den sekundären Koksascheabflüssen sowohl in Bezug auf die ermittelte Gesamtmenge wie auch den Glührückstand, gegenüber den bei Versuch I ermittelten Werten eine geringe Zunahme, der Glühverlust, wie schon oben erwähnt, eine Abnahme, die, auf den Rohwassermittelwert berechnet, 40 % und auf den Mittelwert der primären Koksabflüsse berechnet, etwa 10 % betrug.

Die stickstoffhaltigen Substanzen und zwar speziell der Ammoniakstickstoff und der organische Stickstoff waren durch die Behandlung der primären Abflüsse in dem sekundären Körper gegenüber den durch das grobkörnige Material erreichten Effekten beträchtlich herabgesetzt worden. Wie aus Tabelle I ersichtlich ist, wurde beim Ammoniakstickstoff — auf Rohwasser berechnet — im Mittel eine Abnahme um reichlich 65 %, und beim organischen Stickstoff im Mittel eine solche von über 70 % festgestellt; in einigen Fällen wurde der letztere durch die Behandlung in dem feinen Material sogar vollständig entfernt.

Bezüglich der in den Abflüssen nachgewiesenen Nitratmengen war gegenüber den bei dem grobkörnigen Material erzielten Resultaten eine Aenderung insofern eingetreten, als bei Versuch II ausserordentlich hohe Werte erhalten wurden, welche, auf Nitratstickstoff berechnet, 19—41 mg, auf Salpetersäure (N_2O_5) berechnet zwischen 72 und 158 mg schwankten.

Salpetrige Säure konnte, wie die Tabelle I zeigt, in den Koksascheabflüssen in relativ nur geringer Menge nachgewiesen werden.

Im Gegensatz zu der im allgemeinen recht beträchtlichen Ver-

minderung des organischen Stickstoffs zeigte die Oxydierbarkeit (der Kaliumpermanganatverbrauch) der in Rede stehenden Abflüsse keine so erhebliche Herabsetzung; die Abnahme des Kaliumpermanganatverbrauches war überhaupt recht schwankend; sie bewegte sich zwischen etwa 33 und 70 % und betrug im Mittel nicht ganz 50 %. Was die absoluten Werte anlangt, so schwankten diese zwischen 121 und 255 mg und betragen im Mittel 194 mg pro Liter. Trotz dieser für die Koksabflüsse ermittelten hohen Zahlen des Kaliumpermanganatverbrauches hatte, wie vorstehend erwähnt, das Wasser seine Fäulnisfähigkeit vollständig eingebüsst, ein Beweis dafür, dass man, wie auch schon Dunbar und Thumm¹⁾ betonen, keineswegs aus den durch die Analyse ermittelten absoluten Werten bindende Schlüsse auf die Fäulnisfähigkeit bzw. Schädlichkeit eines Abwassers ziehen darf.

Der Chlorgehalt war in den sekundären Abflüssen meistens gleich demjenigen der Rohwässer und der primären Koksabflüsse; nur manchmal konnte eine Erhöhung bzw. eine Verminderung des Chlorgehaltes beobachtet werden, eine Erscheinung, auf die bei Versuch V näher eingegangen werden soll.

Hinsichtlich der Kohlensäure liess sich feststellen, dass der Mittelwert für die gebundene Kohlensäure, verglichen mit den für Rohwasser und für die primären Abflüsse gewonnenen Zahlen, praktisch gesprochen der gleiche geblieben war, dass aber bezüglich der Gesamtkohlensäure und deshalb auch hinsichtlich der freien Kohlensäure meistens eine deutliche Abnahme beobachtet wurde.

Der Kalkgehalt der sekundären Abflüsse hatte in Uebereinstimmung mit der Zunahme der anorganischen Bestandteile des Abdampfrückstandes, ebenso wie der der primären Abflüsse, eine weitere Zunahme erfahren.

Eisen fand sich auch in diesen Abflüssen meistens nur in Spuren.

Der Keimgehalt der bei Versuch II erhaltenen Abflüsse schwankte zwischen 5 Millionen und 6,2 Millionen auf Nährgelatine gewachsenen Keimen und betrug im Mittel 5,6 Millionen im ccm. Der Bakteriengehalt hatte sich also, auf denjenigen des Rohwassers berechnet, um 67 %, und auf den der primären Koksabflüsse berechnet um 55 % vermindert. Auch hier boten die Kulturplatten hinsichtlich der zur Entwicklung gekommenen Bakterienarten dasselbe Bild,

1) l. c. S. 13 u. flg.

wie die des Rohwassers und der Abflüsse aus dem primären Kokskörper I.

In quantitativer Hinsicht ergab die Prüfung, dass Versuchskörper II bei der 10. Beschickung, pro 1 cbm Material berechnet, 360 Liter Wasser aufzunehmen imstande war. Bei weiterer Beschickung sank die Aufnahmefähigkeit langsam, betrug bei der 50. Füllung aber immer noch 340 Liter für 1 cbm Material. Der niedrigste für die Aufnahmefähigkeit gegen Ende der Versuche ermittelte Wert belief sich auf 315 Liter pro 1 cbm Material.

Nach Ausserbetriebsetzung des Körpers erwies sich das gesamte Material ebenso wie Versuchskörper I gleichmässig verschlammte. Der Geruch des Materials war ein schwach erdiger; Schwarzfärbung der Koksasche, hervorgerufen durch Schwefeleisenbildung, fehlte vollständig.

Bei der Entschlammung des Materials, welche nach der früher beschriebenen Methode vorgenommen wurde, wurden pro 1 cbm Material 126,7 Liter — aus dem primären Körper wurden 67,8 Liter erhalten — „sedimentierter Schlamm“ gewonnen. In 20stündiger Drainierung verlor derselbe 48,6 % seines Wassergehaltes. Der für 1 cbm Material erhaltene „drainierte Schlamm“ betrug also 65 Liter (primärer Körper 39,4 Liter).

Der drainierte Schlamm besass infolge der Beimischung zahlreicher, aus dem Material stammender Koksteilchen eine schwärzliche Farbe. Der Geruch des Schlammes war ein erdartiger, der auch bei längerer Aufbewahrung des letzteren sowohl in offenen wie in geschlossenen Gefäßen bestehen blieb, ohne dass ein Fäulnisgeruch aufgetreten wäre.

Bezüglich der Zusammensetzung des Schlammes sei auf Tabelle II verwiesen. Dieselbe zeigt, dass der wasserfreie Schlamm im Gegensatze zu dem aus Versuchskörper I erhaltenen Schlamm etwa zur Hälfte organischer und zur Hälfte anorganischer Natur war, und dass der drainierte Schlamm noch rund 60 % Wasser enthielt. Der Wassergehalt des sedimentierten Schlammes berechnet sich hier nach zu 79,4 %.

Hinsichtlich der Veränderungen, welche das Material des Versuchskörpers II durch seine Entschlammung erlitten hatte, ist folgendes mitzuteilen:

Die Aufnahmefähigkeit hatte sich ebenso wie bei dem Körper I wieder auf ihre ursprüngliche Höhe gehoben. Sie betrug 368 Liter

pro cbm Material gegenüber einer Aufnahmefähigkeit von 360 Liter bei der 10. Füllung des Versuchskörpers.

Bezüglich des Materialverlustes ergab sich, dass derselbe zu etwa 11 % anzusetzen war; hinsichtlich der Korngrösse des Materials wurde ebensowenig wie bei dem Oxydationskörper I eine wesentliche Aenderung des Kornes beobachtet.

Versuchskörper III: Tertiärer (Sand-) Oxydationskörper.

Korngrösse des Materials unter 3 mm.

Versuchskörper III wurde in der Betriebszeit — 24. Mai bis 8. November 1901 — ebenso wie die vorstehend beschriebenen Körper I und II 145 mal, meistens 1 mal täglich, mit den Abflüssen aus Versuchskörper II beschickt. Der Betrieb des Sandoxydationskörpers erfolgte derartig, dass das gesamte aus dem vorgeschalteten feinkörnigen Koksaschekörper abfliessende Wasser auf den Sandkörper aufgelassen wurde. Bei den gegenseitigen Mengenverhältnissen der Materialien in Versuchskörper II und III wurden hierdurch nicht nur die Poren des Sandkörpers vollkommen mit dem auffliessenden Wasser angefüllt, sondern es wurde auch der Körper mit dem Abwasser überstaut, so dass also nur ein Teil des Wassers einer länger dauernden Kontaktwirkung des Sandes — zu Beginn der Versuche bis zu einer halben Stunde, gegen Ende der Versuche nur noch 10 Minuten — ausgesetzt war, während der übrige Teil bei der Entleerung des Sandkörpers einfach durch denselben hindurch filtrierte. Diese Betriebsart wurde gewählt, da erfahrungsgemäss die Sandkörper nach erfolgter Einarbeitung im allgemeinen bedeutend grössere Abwassermengen zu verarbeiten oder, wie man zu sagen pflegt, zu schönen im stande sind, als ihrem Porenvolumen entspricht.

Die bei dieser Arbeitsweise mit dem Versuchskörper III erlangten Ergebnisse, dessen Abflüsse also das Produkt einer dreifachen Behandlung des Rohwassers durch grobkörnige, dann durch feinkörnige Koksasche und schliesslich durch Sand darstellen, waren folgende:

Hinsichtlich der äusseren Beschaffenheit der Sandabflüsse konnte im allgemeinen eine recht beträchtliche Besserung gegenüber den Abflüssen des sekundären Körpers festgestellt werden. Das erste aus den Sandkörpern kommende Wasser, welches also einige Zeit lang mit dem Material in Kontakt geblieben war, war stets vollständig klar und nahezu farblos — die Durchsichtigkeit lag oft über 40 cm; das nachfolgende Wasser, welches über dem Sande gestanden hatte

und bei der Entleerung des Körpers, wie schon erwähnt, einfach durch das Füllmaterial hindurchfiltrierte, war nie ganz klar, sondern stets opaleszierend; ein vollständig klares Produkt konnte also durch einfache Filtration der sekundären Koksabflüsse durch Sand, auch nach seiner Einarbeitung, nicht erreicht werden. Die Tatsache, dass die Abflüsse aus Oxydationskörpern beim Faulverfahren einer Schönung durch Sandkörper grössere Schwierigkeiten entgegenstellen, als die beim reinen Oxydationsverfahren erzielten Abflüsse, findet mithin auch im vorliegenden Falle ihre Bestätigung¹⁾.

Bei der Mischung des gesamten Sandabflusses ergab sich ein Wasser, welches meistens klar — in einigen Fällen auch opaleszierend —, nahezu farblos und vollständig frei von Schwebestoffen war. Die Durchsichtigkeit dieser Abflüsse lag zwischen 11 cm und über 30 cm und belief sich im Mittel auf etwa 20 cm.

Der Geruch der Abflüsse war meist ein erdiger; oft fehlte auch dieser, und es konnten die Wässer dann als geruchlos bezeichnet werden.

Ebenso wenig wie die sekundären Koksascheabflüsse liessen die Sandabflüsse bei der Aufbewahrung der Proben bei Zimmertemperatur — mit und ohne Luftzutritt — eine Nachfäulung erkennen. In den meisten Fällen, auch bei den völlig klaren Wässern, wurde entsprechend der bei den Abflüssen aus Körper II gemachten Beobachtung eine nachträgliche Abscheidung eines geringen Bodensatzes bemerkt.

Die Reaktion der Sandabflüsse war wie die des Rohabwassers und der beiden Schlackeabflüsse eine schwach alkalische.

Die durch die Analyse ermittelten Werte zeigen, dass durch die Sandnachbehandlung der sekundären Koksabflüsse ausser einer Besserung der äusseren Beschaffenheit eine weitere Reinigung des Abwassers bewirkt worden war. So betrug auf Rohwasser berechnet die Abnahme des Glühverlustes des Abdampfrückstandes im Mittel etwa 30 %, die Abnahme des Kaliumpermanganatverbrauches im Mittel ca. 70 % und die des organischen Stickstoffs über 95 %. Verglichen mit den Abflüssen aus Körper II hatte der Glühverlust ebenso wie bei dem noch zu beschreibenden Versuch V eine Zunahme erfahren.

Die Schwebestoffe wurden, wie bereits erwähnt, durch die Sandnachbehandlung vollständig aus den sekundären Koksabflüssen entfernt.

1) Vergl. Dunbar und Thumm l. c. S. 130.

Bezüglich des Abdampfrückstandes ergab die Analyse, dass gegenüber den Abflüssen aus Körper I und II eine weitere Zunahme stattgefunden hatte, die sowohl in der Gesamtmenge als auch in den anorganischen und organischen Bestandteilen zum Ausdruck kam.

Die stickstoffhaltigen Substanzen wurden durch die Sandnachbehandlung in beträchtlichem Masse vermindert.

Wie die Tabelle I zeigt, ging der im Rohwasser im Mittel zu 142 mg im Liter berechnete Gesamtstickstoff im Versuchskörper I auf 98 mg, im Versuchskörper II auf 73 mg und im Versuchskörper III weiter auf 35 mg im Liter herab; die Gesamtstickstoffmenge zeigte also eine Gesamtabnahme von rund 75 %.

Der Ammoniakstickstoff, welcher in den Abflüssen aus dem sekundären Kokskörper im Mittel noch zu 38 mg bestimmt war, wurde durch die weitere Behandlung der Wässer in dem Sandkörper im Mittel auf 8 mg pro Liter herabgesetzt, und die Gesamtabnahme, auf den ursprünglichen Gehalt im Rohwasser bezogen, schwankte zwischen 80 und 97 % (Mittelwert 93 %).

Der organische Stickstoff, welcher in einigen Fällen schon durch die sekundäre Koksbehandlung vollständig entfernt wurde, fehlte in den Sandabflüssen meistens gänzlich; nur in 4 Fällen wurden 3 mal je 2 mg und 1 mal 6 mg festgestellt. Im Mittel betrug die Abnahme des organischen Stickstoffs über 95 %.

Die Nitrate erfuhren durch die Sandnachbehandlung gegenüber den in den sekundären Koksabflüssen ermittelten Werten eine meist nur geringe Zunahme. Als höchster Wert wurde in den aus Versuchskörper III kommenden Abflüssen 47 mg Nitratstickstoff ermittelt, was einem Salpetersäuregehalt von 181 mg im Liter entspricht.

Nitrite waren meist nur in Spuren nachweisbar.

Die Oxydierbarkeit, d. h. der Kaliumpermanganatverbrauch, zeigte ebenso wie der organische Stickstoff eine recht beträchtliche Abnahme, die im geringsten Falle 60 %, im höchsten Falle 82 % und im Mittel 70 % betrug. Die absoluten Werte schwankten zwischen 83 und 147 mg, während das Mittel bei 112 mg lag.

Der Chlorgehalt der Sandabflüsse hatte sich gegenüber den der Abflüsse aus dem sekundären Kokskörper nicht geändert, wohl aber die Kohlensäure, und zwar in den verschiedenen Arten ihres Vorkommens: die Gesamtkohlensäure sowie die gebundene Kohlensäure wiesen eine Abnahme, die freie Kohlensäure dagegen eine Zunahme auf.

Auch der Kalkgehalt hat in den Sandabflüssen eine weitere Zunahme erfahren. Derselbe ist von seinem ursprünglichen, im Rohwasser ermittelten Gehalte von 103 über 112 und 140 in den Kokskörpern durch die Sandnachbehandlung auf 154 mg im Mittel gestiegen. Diese Zahlen lassen ebenso wie die für die Abdampfrückstände ermittelten Werte in eindeutiger Weise erkennen, dass die Abwässer bei den in Rede stehenden Versuchen während ihres Aufenthaltes in den biologischen Körpern nicht unbeträchtliche Mengen des Körpermaterials ausgelaugt haben.

Eisen wurde meistens nur in Spuren nachgewiesen; im Höchstfalle fanden sich 0,1 mg Fe_2O_3 pro Liter in den Abflüssen.

Der Keimgehalt, der bereits durch die Behandlung in dem Aschekörper eine Abnahme erfahren hatte, wurde durch die Sandnachbehandlung noch weiter herabgesetzt (im Mittel betrug diese Verminderung etwa 80 %). Beachtenswert war, dass die Kulturplatten ein wesentlich anderes Bild boten als die mit Rohwasser bzw. den Abflüssen aus den primären und sekundären Kokskörpern angesetzten Platten. Während bei diesen, wie schon häufiger erwähnt, gleiche Bakterienarten, sowohl Gelatine verflüssigende wie nichtverflüssigende, zur Entwicklung gekommen waren, fanden sich auf den mit Sandabflüssen beschickten Kulturplatten relativ nur wenige Arten und zwar meistens nichtverflüssigende Bakterienarten. Die Hauptmasse der Kolonien wurde aus einer Bakterienart gebildet, einem Coccus, welcher kleine, bis stecknadelkopfgrosse weissliche, nicht verflüssigende Kolonien bildete. Durch die Sandnachbehandlung erfolgte also nicht nur eine weitere Zurückhaltung der Bakterienkeime, sondern auch eine ganz beträchtliche Verminderung der Bakterienarten, ein Befund, wie er neuerdings auch aus englischen Arbeiten¹⁾ bekannt geworden ist.

Hinsichtlich der quantitativen Leistungsfähigkeit des Versuchskörpers III wurde im Laufe des Betriebes keinerlei Abnahme beobachtet. Die Aufnahmefähigkeit des Sandes wurde zu Beginn des Versuches und ebenso nach Abbruch desselben zu rund 150 Liter pro cbm Material ermittelt. Wie früher erwähnt, wurde durch den Sand die gesamte Menge der sekundären Koksabflüsse, also bedeutend mehr hindurchgeschickt, als dessen Porenvolumen zu fassen imstande war.

1) Vergl. Royal Commission on Sewage Disposal, Second Report. 1902.

Nach Abschluss der Versuche erwiesen sich nur die Oberfläche des Körpers und die oberen Schichten bis auf etwa 2 cm herab in geringem Masse mit Schlamm durchsetzt. Der übrige Teil des Sandes besass etwa das gleiche Aussehen, wie vor Beginn des Versuches. Das gesamte Sandmaterial zeigte einen deutlichen Erdgeruch. Eine Schwarzfärbung konnte an keiner Stelle des Körpers beobachtet werden. Trotz der Schlammablagerung in den Oberflächen-Schichten versickerte das aufgebrauchte Wasser der sekundären Koksabflüsse stets völlig gleichmässig in dem Sandmaterial.

Von einer Entschlammung des Körpers wurde infolge der geringen Menge des Schlammes Abstand genommen.

Versuchskörper IV: Primärer (feinkörniger) Oxydationskörper. Korngrösse des Materials 3—8 mm.

Auch dieser Körper wurde während der Betriebsperiode im ganzen 145mal, täglich meistens nur einmal, und zwar stets mit Rohwasser beschickt. Die Dauer des Vollstehens des Versuchskörpers betrug anfänglich 4 und späterhin nur noch 3 Stunden, so dass sich das Abwasser die gleiche Zeit, wie in Versuchskörper I und II zusammen genommen, aufhielt. Die hierbei — also durch einfache Behandlung des Rohwassers in feinem Material — erlangten Ergebnisse sind deshalb direkt vergleichbar mit den Resultaten, die durch Oxydationskörper I und II — also durch doppelte Behandlung des Schmutzwassers — erzielt wurden, und erfahren infolgedessen in nachstehendem mit den bei Versuchskörper II gemachten Ermittlungen eine vergleichende Besprechung.

Vorausgeschickt sei, dass bei Versuch IV ebensowenig wie bei Versuch I durch das kürzere oder längere Verweilen des Abwassers in dem Material innerhalb der angegebenen Versuchszeiten und bei ein- oder zweimaliger täglicher Beschickung der Körper sich ein nennenswerter Unterschied hinsichtlich des erlangten Reinigungseffektes bemerkbar machte, und dass deshalb auch hier, ebenso wie bei dem vorgenannten Körper, die erhaltenen Resultate ohne besondere Bezugnahme auf die verschieden lange Dauer des Vollstehens oder auf die Zahl der täglichen Füllungen besprochen werden sollen.

Was zunächst die äussere Beschaffenheit der Abflüsse aus Körper IV anlangt, so gilt für diese im allgemeinen das bei Körper II gesagte: Die schwach alkalisch reagierenden Wässer waren meist nur

noch wenig trübe, besaßen eine mittlere Durchsichtigkeit von nicht ganz 6 cm und eine meist graue Farbe, mit einem leichten Stich in gelb.

Der Geruch der Abflüsse liess im Gegensatz zu den bei Versuchskörper II gemachten Feststellungen manchmal zu wünschen übrig. Zwar wurden hier gleichfalls meistens modrig riechende Abflüsse erzielt, doch kamen auch dreimal schwach fäkalisch riechende Wässer vor, eine Erscheinung, die bei dem doppelt behandelten Abwasser (in einem grobkörnigen und feinkörnigen Körper) nie zu beobachten war.

Hinsichtlich der Veränderungen der durch einfache Behandlung in feinem Material erlangten Abflüsse bei längerem Aufbewahren gilt aber für alle Wässer, auch für die schwach fäkalisch riechenden, das gleiche wie für die bei der doppelten Behandlung erhaltenen Wässer: In sämtlichen von uns beobachteten Fällen hatte das durch feinkörnige Koksasche behandelte Rohwasser seine Fäulnisfähigkeit vollständig verloren.

Auch in den Abflüssen aus Körper IV wurde in gleicher Weise wie in denen aus Körper II und Körper III, sowie in den aus dem noch zu besprechenden Körper V erhaltenen Filtraten bei der Aufbewahrung eine vollständige Klärung der Proben, unter Abscheidung eines nicht sehr bedeutenden Niederschlages beobachtet. Das Auftreten von Bakterienhäuten oder einer schwarzen, durch Schwefeleisen bedingten Färbung der Proben konnte hierbei in keinem Falle bemerkt werden.

Im Zusammenhang mit diesen wesentlichen Besserungen, welche das Rohwasser durch seine Behandlung in dem feinkörnigen primären Körper erfahren hatte, stehen die durch die Analysen ermittelten Befunde, wie die für die Feststellung des erreichten Kläreffektes und zwar hinsichtlich der gelösten fäulnisfähigen Stoffe gewählten Indikatoren erkennen liessen: Der Glühverlust des Abdampfrückstandes zeigte eine Abnahme von 40 % (Körper II Abnahme 40 %), der organische Stickstoff eine solche von etwa 54 % (Körper II Abnahme etwa 70 %) und der Kaliumpermanganatverbrauch eine Verminderung von etwa 45 % (Körper II Abnahme etwa 50 %). Vergleicht man diese für Versuch IV erlangten Werte mit den bei Versuch II erhaltenen, vorstehend in Parenthese aufgeführten Zahlen, so ergibt sich, dass der Glühverlust sowie der Permanganatverbrauch bei beiden Versuchen eine etwa gleiche Herabsetzung erfahren haben, dass aber hinsichtlich

des organischen Stickstoffes das doppelte Verfahren sich als leistungsfähiger als das einfache Verfahren erwiesen hat.

Entsprechend der grösseren Durchsichtigkeit der Abflüsse aus dem feinkörnigen primären Kokskörper gegenüber der Durchsichtigkeit des Rohwassers ergab auch die Analyse eine recht erhebliche Abnahme der Schwebestoffe (etwa 70 % auf Rohwasser berechnet); dieselbe war also nur wenig niedriger, als die durch Versuchskörper II erreichte Abnahme (80 %). Wie bei Versuch I und II, so war auch bei Versuch IV der weitaus grösste Teil dieser Schwebestoffe — 88 % — organischer Natur.

Die Gesamtmenge sowie der Glührückstand des Abdampfrückstandes zeigte die gleiche Zunahme, der Glühverlust dieselbe Abnahme, wie sie bei Versuch II ermittelt wurden.

Von den in den Abflüssen gelöst enthaltenen stickstoffhaltigen Substanzen zeigte der Gesamtstickstoff im Mittel fast die gleiche Herabsetzung wie bei der doppelten Behandlung — 44,4 % —. Nicht so hoch war die Abnahme des Ammoniaks, sowie die des organischen Stickstoffes, und zwar belief sie sich beim Ammoniak auf 53,5 % und beim organischen Stickstoff auf 53,8 %, gegenüber einer Abnahme von über 65 % bzw. 67 % bei Versuchskörper II.

Die für Nitratstickstoff ermittelten Werte schwankten, wie aus Tabelle I hervorgeht, zwischen Spuren und 21 mg und betragen im Mittel 13 mg Stickstoff, oder 50 mg auf Salpetersäure (N_2O_5) berechnet.

Bezüglich der in dem vorliegenden Fall in den Abflüssen ermittelten Nitratmengen verweisen wir auf das bereits bei Versuch I über den Salpetersäuregehalt der Filtrate gesagte. Da Versuchskörper IV direkt mit Rohwasser beschickt wurde, so spielten sich auch hier ähnliche Reduktionsvorgänge ab, wie beim Versuchskörper I, und die nachgewiesenen Salpetersäuremengen entsprachen demnach keineswegs der Nitratmenge, welche in der voraufgegangenen Lüftungsperiode gebildet worden war.

Insbesondere fehlten bei unserm Versuchskörper Nitrate meist vollständig in den Abflüssen, wenn das Rohwasser reichliche Mengen Schwefelwasserstoff enthielt, während bei Abwesenheit dieses Stoffes bzw. bei nur geringem Vorhandensein desselben in dem Rohwasser ein fast ebenso hoher Nitratgehalt wie bei Versuchskörper II — diesem wurde infolge der Vorbehandlung des Rohwassers in dem primären

Körper ein von Schwefelwasserstoff freies Abwasser zugeführt — ermittelt wurde.

Die Arbeit von Thumm¹⁾ behandelt diese Frage eingehend, und es sei deshalb bezüglich aller näheren Einzelheiten über den in Rede stehenden Punkt auf diese verwiesen. Hier sei nur soviel erwähnt, dass uns nach allen Beobachtungen, welche wir bei stickstoffhaltigen Abwässern bezüglich dieser Frage machen konnten, die Bildung von Nitraten für den normalen Betrieb eingearbeiteter biologischer Körper unerlässlich erscheint. Nur dann findet eine fortdauernde Entfernung der in den biologischen Körpern zurückgehaltenen Ammoniakmengen statt und ist der Körper, hierdurch regeneriert, befähigt, stets die neu mit dem Abwasser ihm zugeführten Ammoniakmengen zu binden. Gelingt der Nachweis von Nitraten in den Abflüssen nicht, und wird trotzdem ein befriedigender Reinigungseffekt beobachtet, so sind die Ursachen dieses negativen Befundes auf die oben besprochenen Reduktionserscheinungen zurückzuführen, und es muss infolgedessen als nicht zutreffend bezeichnet werden, aus dem Fehlen der Nitrate in den Abflüssen auf eine Nichtbildung dieser Verbindungen in den biologischen Körpern zu schliessen.

Hinsichtlich der Herabsetzung der Oxydierbarkeit, die meistens etwas niedriger lag als bei den Abflüssen aus Versuchskörper II, gilt voll und ganz das für diesen Körper auf S. 147 gesagte. Auch bezüglich der für Chlor, für Eisen und für Kalk ermittelten Werte sei auf die Ergebnisse von Versuchskörper II verwiesen. Der Gehalt an Kohlensäure dagegen war in den Abflüssen aus dem primären feinen Körper ein bedeutend höherer als bei Versuch II.

Der Keimgehalt der Abflüsse wurde im Minimum zu 3,8, im Maximum zu 11 Millionen und im Mittel zu 7,4 Millionen pro 1 cm ermittelt. Wie bei Versuchskörper II, so waren auch hier anscheinend die Bakterienarten des Rohwassers vertreten; jedenfalls boten in allen Fällen die Kulturplatten der Abflüsse dasselbe Bild, wie die des Rohwassers.

Die quantitative Prüfung ergab für den Versuchskörper IV eine ursprüngliche Aufnahmefähigkeit — bei der 10. Beschickung ermittelt — von rund 330 Liter pro cbm Material. Bei den weiteren Beschickungen sank die Aufnahmefähigkeit nur langsam, betrug bei

1) l. c. S. 90 u. flg.

der 50. Beschickung rund 320 Liter und zeigte als niedrigsten Wert 308 Liter pro cbm Material.

Nach Entschlammung des Körpers stieg die Aufnahmefähigkeit ebenso wie bei Versuchskörper II und betrug 350 Liter Abwasser pro 1 cbm Material, war also höher als bei Beginn unserer Versuche.

Die Korngrösse des Materials hatte sich durch das Waschen anscheinend nicht geändert. Der durch die Entschlammung bewirkte Materialverlust betrug über 13 %, war also etwas höher als bei Versuchskörper II (11 %), aber 3 % niedriger als der bei Versuch I und II insgesamt erlittene Materialverlust (16 %).

Bei der Entscheidung der Frage, ob doppeltes oder einfaches Verfahren zu wählen sei, dürfte unseres Erachtens diese Beobachtung entsprechende Beachtung verdienen.

Der nach der 145. Beschickung ausser Betrieb gesetzte Körper erwies sich von oben nach unten zu gleichmässig und zwar stark verschlammmt. Der Geruch des Materials, in welchem nirgends eine durch Schwefeleisenbildung hervorgerufene Schwarzfärbung beobachtet werden konnte, war schwach erdig.

Die nach der früher beschriebenen Methode ausgeführte Entschlammung ergab 183 Liter „sedimentierten Schlamm“ pro 1 cbm Material. Durch Drainieren verlor derselbe 49 % seines Wassergehaltes, so dass pro 1 cbm Material rund 93 Liter „drainierter Schlamm“ erhalten wurden. Versuchskörper IV war also in bedeutend stärkerem Masse verschlammmt als Körper II, bei dem nur 65 Liter drainierter Schlamm gewonnen wurden. Unter Hinzurechnung der bei Versuch I erhaltenen Schlammengen (etwa 40 Liter) zu den bei Versuch II gewonnenen ergibt sich, dass bei der doppelten Behandlung des Abwassers in grobkörnigem und feinkörnigem Material sich in den betreffenden Körpern etwas mehr Schlamm abgelagert hatte, als bei einfacher Behandlung des Schmutzwassers in dem feinkörnigen Körper allein: 105 Liter bei doppelter, 93 Liter bei einfacher Behandlung.

Da, wie analytisch festgestellt, durch das doppelte Verfahren eine etwas weitgehendere Entfernung der Schwebstoffe erzielt wurde als durch das einfache Verfahren — bekanntlich bilden die den biologischen Körpern zugeführten Schwebstoffe neben einer Reihe anderer Faktoren¹⁾ die Hauptursache der Verschlammung — so erklärt sich hieraus der erhaltene Befund ohne weiteres.

1) Wegen dieser s. z. B. Dunbar und Thumm l. c. S. 100.

Wie der aus Versuchskörper II gewonnene Schlamm besass auch der aus Körper IV erhaltene eine schwärzliche Farbe und einen Erdgeruch, der auch bei längerer Aufbewahrung des Schlammes bestehen blieb und keinem Fäulnis- bzw. Schwefelwasserstoffgeruche Platz machte.

Die Zusammensetzung des drainierten Schlammes ist aus Tabelle II ersichtlich und lässt erkennen, dass der drainierte Schlamm noch rund etwa 60 % Wasser enthielt, sodass der Gesamtwassergehalt des sedimentierten Schlammes sich auf 79,6 % belief. Er zeigte also bezüglich seines Feuchtigkeitsgehaltes wie auch hinsichtlich seiner sonstigen Zusammensetzung eine ähnliche Beschaffenheit wie der aus Körper II isolierte Schlamm.

Versuchskörper V: Sekundärer (Sand-) Oxydationskörper.

Korngrösse des Materials unter 3 mm.

Der zur Nachbehandlung der aus dem primären Körper IV stammenden Abflüsse dienende Sand-Oxydationskörper V wurde ebenso oft beschickt wie die anderen Versuchskörper und zwar bei je einmaliger täglicher Füllung im ganzen 145 mal. Bezüglich des Betriebes und der denselben bestimmenden Gesichtspunkte gilt das bei Versuchskörper III gesagte: das gesamte, aus dem primären feinkörnigen Oxydationskörper stammende Abwasser gelangte auf den Sandkörper, sodass derselbe teilweise damit überstaut war. Nach einer halben Stunde bis zu 10 Minuten herab erfolgte die Entleerung des Körpers, wobei alsdann das über der Sandoberfläche stehende Wasser in gleicher Weise, wie dies bei Körper III der Fall war, durch das Sandmaterial einfach hindurchfiltrierte.

Die bei dem vorliegenden Versuche erhaltenen Ergebnisse — erlangt durch eine Sandnachbehandlung der Abflüsse aus dem primären feinkörnigen Oxydationskörper IV — können in Vergleich gesetzt werden mit denen, welche bei Versuchskörper III — Sandnachbehandlung der Abflüsse aus dem sekundären feinkörnigen Oxydationskörper II — erhalten wurden, wie dies in vorstehendem auch bezüglich der bei den Versuchskörpern IV und II erlangten Resultate geschehen ist.

Was zunächst die äussere Beschaffenheit der aus dem sekundären Sandoxydationskörper erhaltenen Abflüsse anlangt, so war dieselbe im grossen und ganzen derjenigen der Abflüsse aus dem tertiären Sandkörper III ähnlich; nur bezüglich ihrer Farbe machte sich insofern

ein Unterschied bemerkbar, als sie im Gegensatz zu den nahezu farblosen Abflüssen des Körpers III meistens einen Stich in gelb besaßen.

Der durch die Analyse ermittelte Reinigungseffekt war in mancher Beziehung etwas niedriger als bei Körper III. Die auf den Rohwassermittelwert berechnete Abnahme des organischen Stickstoffs belief sich auf 91,5 % (bei Körper III über 95 %) und die des Kaliumpermanganatverbrauches auf 66,1 % (bei Körper III etwa 70 %), die Abnahme des Glühverlustes des Abdampfrückstandes auf 27,7 % (bei Körper III etwa 30 %). Der Glühverlust des Abdampfrückstandes zeigte auch hier, wie bei Sandkörper III, gegenüber dem Glühverlust des aufgeleiteten Wassers eine nicht unerhebliche Zunahme; doch soll auf diesen Punkt an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

Wie durch Körper III wurden auch durch Körper V die Schwebestoffe vollständig aus den aufgeleiteten Abwässern entfernt. Auch hier erfuhren die Gesamtmenge sowie die anorganischen Bestandteile (Glührückstand) des Abdampfrückstandes durch die Sandnachbehandlung eine nicht unerhebliche und zwar noch stärkere Zunahme als bei Körper III. Bezüglich des Glühverlustes sei auf das vorstehend gesagte verwiesen.

Wie Tabelle I erkennen lässt, zeigten die für die Stickstoffsubstanzen — den Gesamtstickstoff, den Ammoniakstickstoff, die Nitrate und Nitrite sowie den organischen Stickstoff — ermittelten Werte ähnliche Zahlen wie die bei Versuch III festgestellten, sodass den dort hierüber gegebenen Erläuterungen an dieser Stelle nichts hinzuzufügen ist.

Bezüglich der Chlorverbindungen wurden teils dieselben Werte wie bei dem feinkörnigen Aschekörper ermittelt, teils aber auch, wie schon bei Versuch II erwähnt ist, öfters ziemlich abweichende Zahlen. Der Grund für diese Abweichung lag nicht etwa in einer nicht sachgemäss ausgeführten Probeentnahme, sondern die Schwankungen beruhten, wie Thumm auch bei anderen Versuchen feststellen konnte, lediglich auf der Verdünnung, welche das in die Körper eingeleitete Abwasser durch den in demselben auch bei guter Drainage immer noch in nicht unerheblichem Grade vorhandenen Feuchtigkeitsgehalt des Materials selbst erfuhr. Enthält das im Material befindliche Wasser einen höheren Gehalt an

Chloriden, als das zur Beschickung verwandte, so ist naturgemäss in den Abflüssen eine Zunahme des Chlors, im umgekehrten Falle selbstverständlich eine Abnahme zu konstatieren.

Bei den in Rede stehenden Versuchen trat dieser Feuchtigkeitsgehalt des Materials analytisch meistens nur schwach in die Erscheinung, da der Chlorgehalt der zur Beschickung verwandten Abwässer relativ nur geringen Schwankungen unterworfen war und infolgedessen auch das in den Körpern befindliche Wasser, praktisch gesprochen, denselben Chlorgehalt aufwies, wie das zur Füllung verwandte Abwasser. Setzt man absichtlich Chloride (z. B. Kochsalz) den Abwässern zu, so lassen sich diese Verhältnisse genau studieren und die Verdünnung, welche das Abwasser durch die in dem biologischen Körper enthaltene Feuchtigkeit erhält, mit Sicherheit feststellen.

Ueber die Bedeutung des Feuchtigkeitsgehaltes des Füllkörpermateriale für manche in der ersten Zeit des Vollstehens eines biologischen Körpers sich abspielenden Vorgänge soll an anderer Stelle berichtet werden.

Der Kaliumpermanganatverbrauch der Abflüsse aus dem primären feinkörnigen Körper erfuhr durch die Sandnachbehandlung eine mittlere Abnahme von 40,0 % — die Abnahme der Oxydierbarkeit, auf Rohwasser berechnet, betrug 66,1 %, war also, wie oben schon mitgeteilt wurde, etwas niedriger als bei doppelter Behandlung des Rohabwassers und anschliessender Sandnachbehandlung.

Bezüglich der Werte für Kohlensäure, Eisen, Kalk sowie hinsichtlich des ermittelten Keimgehaltes sei auf Tabelle I verwiesen. Da hier die Verhältnisse ähnlich lagen wie bei Versuch III, so erübrigt sich eine nähere Besprechung der einzelnen Werte. Nur in bezug auf den Keimgehalt sei hervorgehoben, dass, ebenso wie bei Versuch III, nicht nur eine erhebliche Abnahme der Bakterienzahl (auf Rohwasser berechnet rund 89 %), sondern auch der Bakterienarten zu beobachten war.

In quantitativer Hinsicht bestanden dieselben Verhältnisse wie bei dem tertiären Sandoxydationskörper; auch hinsichtlich der Verschlammung des Materials, dessen Geruch und Aussehen, waren keine erheblichen Unterschiede zu beobachten.

Fasst man die bei Körper V erhaltenen Ergebnisse mit den bei Versuchskörper III gewonnenen zusammen, so lässt sich sagen, dass, vom praktischen Standpunkte aus beurteilt, in beiden Fällen durch

die Sandnachbehandlung gleiche Resultate erzielt wurden, und dass die jeweilige verschiedenartige Vorbehandlung des Abwassers durch das einfache oder doppelte Verfahren ohne nennenswerten Einfluss auf das Gesamtergebnis geblieben war.

Im Anschluss an die vorstehend geschilderten Versuche und bevor auf die hieraus zu ziehenden Schlussfolgerungen übergegangen werden soll, wollen wir an dieser Stelle noch kurz über einige Versuche berichten, die die Frage einer geeigneten und bequemen Entschlammung biologischer Körper betrafen.

Ausser der eingangs erwähnten Art der Entschlammung, wie wir sie bei unseren Versuchskörpern vornehmlich angewandt haben, und die sich direkt auf die von Dunbar und Thumm¹⁾ hierüber mitgeteilten Angaben stützt, wurden speziell von Thumm noch andere Arten der Entschlammung und zwar bei Versuchskörper II und IV, also an feinkörnigem Material, geprüft. Er fand bei diesen Versuchen, dass eine fast vollständige Entfernung des dem Material anhaftenden Schlammes leicht gelang, wenn er durch den mit Wasser gefüllten biologischen Körper und zwar von unten nach oben hin Wasser durchtreten liess — also eine Rückspülung vornahm — und hierzu gleichzeitig und ebenfalls von unten her in den Körper Luft einblies. Der abgeschwemmte und durch den Wasserstrom nach oben geführte Schlamm konnte dann durch eine am Körper angebrachte Ueberlaufeinrichtung abgezogen werden. Es gelang mithin, durch eine mit Luftstrom kombinierte Rückspülung die Entschlammung kleinerer biologischer Körper auszuführen, ohne das Material aus seinem Behälter zu entfernen.

Bei der Bedeutung, welche eine einfache und nennenswerte Kosten nicht verursachende Entschlammung der Oxydationskörper für den praktischen Betrieb einer biologischen Anlage besitzt, ist die Fortführung dieser Versuche beabsichtigt, und zwar soll die Prüfung der vorgenannten Methode auch auf anderes Füllmaterial und auf grössere biologische Körper ausgedehnt werden.

Im Interesse der Sache würden wir es als vorteilhaft begrüßen, wenn im gegebenen Fall auch von anderer Seite eine Prüfung der vorbeschriebenen Entschlammungsmethode vorgenommen würde.

1) l. c. S. 112 u. flg.

V. Schlussbemerkungen.

Die an den Versuchskörpern I bis V gemachten Feststellungen sind in dem vorstehenden Kapitel IV des näheren beschrieben und die Schlussergebnisse daselbst hervorgehoben worden. Wir wollen an dieser Stelle deshalb nur die eingangs aufgeworfene allgemeine Frage:

Kann konzentriertes, durch einen Faulraum vorbehandeltes Schmutzwasser durch Kontaktkörper gereinigt werden oder nicht?

bezw. die spezielle Frage:

Liegt der an der Tempelhofer Anlage beobachtete, wenig befriedigende Kläreffekt der biologischen Körper wesentlich an der Konzentration und an der Art der Vorbehandlung der dortigen Abwässer vor ihrer Einleitung in die Oxydationskörper oder an vermeidbaren konstruktiven Mängeln der Anlage oder Fehlern des Betriebes?

auf Grund unserer hierüber angestellten Versuche, wie folgt beantworten:

Die Annahme, dass konzentrierte, durch einen Faulraum vorbehandelte Abwässer durch das Kontaktverfahren biologisch nicht gereinigt werden könnten, hat sich in Uebereinstimmung mit unseren an anderen Orten gemachten Erfahrungen auch auf Grund der bei den vorstehend beschriebenen Versuchen erlangten Ergebnisse als nicht zutreffend erwiesen. Durch richtigen Aufbau der biologischen Körper sowie durch zweckentsprechenden Betrieb derselben lassen sich auch bei konzentrierten Wässern, auch wenn diese in Faulräumen vorbehandelt worden sind, Reinigungseffekte erzielen, welche dem durch sachgemässe Berieselung zu erreichenden Reinheitsgrade (wenn man von der Leistungsfähigkeit der beiden Verfahren hinsichtlich der Entfernung der Bakterien absieht) als gleichwertig an die Seite gestellt werden können.

Der an manchen biologischen Anlagen beobachtete negative Erfolg liegt u. E. nicht an der angewandten Methode, sondern beruht teils auf einer unrichtigen Konstruktion, teils auf einer unsachgemässen Betriebsführung, ist oft auch durch beide Faktoren zusammen bedingt.

Was insbesondere die Tempelhofer Anlage betrifft, so findet der hier beobachtete unbefriedigende Kläreffekt der Oxydationskörper durch die zu grobkörnige Beschaffenheit der zur Füllung der dortigen Becken verwandten Koksasche seine zwanglose Erklärung.

Wie nämlich die von uns ausgeführte Untersuchung gezeigt hat

(vergleiche die Fussnote auf Seite 130 dieses Heftes), besass mehr als die Hälfte des in den Tempelhofer Oxydationskörpern befindlichen Materials eine Korngrösse von über 10 mm, und bei mehr als 70 % desselben lag die Korngrösse über 7 mm. Nach allen unseren an Kontaktkörpern gemachten Erfahrungen und auch nach den Beobachtungen, die wir bei den vorstehend geschilderten Versuchen bei Versuchskörper I (Korngrösse 8—25 mm) gemacht haben, lässt sich durch ein Material, wie es in Tempelhof zum Aufbau der Oxydationskörper Verwendung gefunden hat, zumal bei so konzentrierten Wässern, wie sie daselbst vorliegen, ein befriedigender Reinigungseffekt nicht erzielen. Wenn auch bei sachgemässer Handhabung des Betriebes bei Oxydationskörpern, welche aus so grobkörnigem Material hergestellt sind, in den Abflüssen gegenüber der Beschaffenheit des aufgeleiteten Rohabwassers eine Besserung und eine gewisse Herabsetzung der gelösten fäulnisfähigen Stoffe beobachtet werden kann, so gelingt es jedoch nicht, dem Abwasser durch die einfache Behandlung in einem derartigen Material die Fäulnisfähigkeit in allen Fällen zu nehmen. Solche Effekte lassen sich bei höher konzentrierten Wässern nur durch feinkörnigeres Material erzielen, wie für den vorliegenden Fall die bei unserem Versuchskörper IV gewonnenen Ergebnisse haben erkennen lassen, oder noch sicherer durch grob- und feinkörniges Material, also durch doppelte Behandlung des Schmutzwassers, wie die an Körper I und II angestellten Versuche ergeben haben.

Würde man also in der Tempelhofer Kläranlage eine Trennung des Materials in grob- und feinkörniges vornehmen und nur das feine Material zum Aufbau der Oxydationskörper verwenden, so dürfte aller Voraussicht nach unter der Bedingung einer zweckentsprechenden Betriebsführung schon durch die einfache Behandlung des Abwassers eine Entfernung der fäulnisfähigen Stoffe bewirkt werden können. Auf jeden Fall lässt sich dies aber erreichen, wenn das erlangte grobe Material zum Aufbau von primären und das erhaltene feine Material zur Herrichtung von sekundären Körpern verwendet wird, wenn also an Stelle des einfachen das doppelte Verfahren gewählt würde.



Tabelle I.

Untersuchungsergebnisse des Rohwassers sowie der Abflüsse aus den Versuchskörpern I–V.

Thumm und Pritzkow, Tab. I.

mg in 1 Liter	Rohwasser			Versuchskörper I (Grobkörnige Koks- asche)			Versuchskörper II (Feinkörnige Koks- asche)			Versuchskörper III (Sand)			Versuchskörper IV (Feinkörnige Koks- asche)			Versuchskörper V (Sand)		
	Mini- mal- werte	Maxi- mal- werte	Mittel- werte	Mini- mal- werte	Maxi- mal- werte	Mittel- werte	Mini- mal- werte	Maxi- mal- werte	Mittel- werte	Mini- mal- werte	Maxi- mal- werte	Mittel- werte	Mini- mal- werte	Maxi- mal- werte	Mittel- werte	Mini- mal- werte	Maxi- mal- werte	Mittel- werte
Suspendierte Stoffe (Gesamtmenge)	162	378	250	108	171	137	25	83	45	0	0	0	38	115	72	0	0	0
„ „ (Glühverlust)	149	338	220	93	136	116	8	72	35	0	0	0	31	101	63	0	0	0
Abdampfrückstand (Gesamtmenge)	1135	1409	1254	1027	1258	1146	1130	1294	1212	1259	1424	1340	1120	1350	1214	1253	1489	1356
„ (Glührückstand)	710	876	795	768	902	840	870	1004	940	947	1204	1017	860	1020	940	982	1085	1024
„ (Glühverlust)	398	533	459	245	378	306	236	294	272	220	404	323	247	330	274	271	408	332
Gesamt-Stickstoff	75	178	142	75	124	98	—	—	73	—	—	35	—	—	79	—	—	35
Ammoniak-Stickstoff	56	167	116	32	115	79	25	63	38	4	16	8	33	87	54	2	20	9
Nitrat-Stickstoff	0	0	0	0	4	Spuren	19	41	27	14	47	26	Spuren	21	13	13	42	23
Nitrit-Stickstoff	0	0	0	0	0,4	Spuren	0	2,2	1	Spuren	0,5	Spuren	Spuren	2,0	0,5	Spuren	1	0,7
Organischer Stickstoff	11	65	26	12	26	19	0	22	7	0	6	1	1	23	12	0	6	2,2
Chlor	206	288	246	199	257	232	206	257	230	206	247	228	206	253	230	216	251	231
Oxydierbarkeit (KMnO ₄ -Verbrauch)	266	480	372	202	335	283	121	255	194	83	147	112	101	274	210	94	169	126
Kohlensäure (Gesamtmenge)	287	362	323	264	356	299	241	377	267	145	342	198	345	471	352	254	418	287
„ (gebundene)	178	213	198	185	229	207	153	204	187	74	137	97	185	292	234	133	195	152
„ (freie)	83	156	125	42	132	92	63	95	80	71	139	101	53	161	118	119	164	135
Eisen (Fe ₂ O ₃)	0	3	Spuren	0	1	Spuren	0	0,3	Spuren	Spuren	0,1	Spuren	Spuren	0,5	Spuren	Spuren	0,2	Spuren
Kalk (CaO)	78	119	103	101	124	112	126	159	140	146	161	154	134	184	161	178	187	183
Millionen Keime in 1 ccm	12,4	21,4	16,9	10,3	14,5	12,4	5,0	6,2	5,6	0,8	1,4	1,1	3,8	11,0	7,4	1,5	2,0	1,8

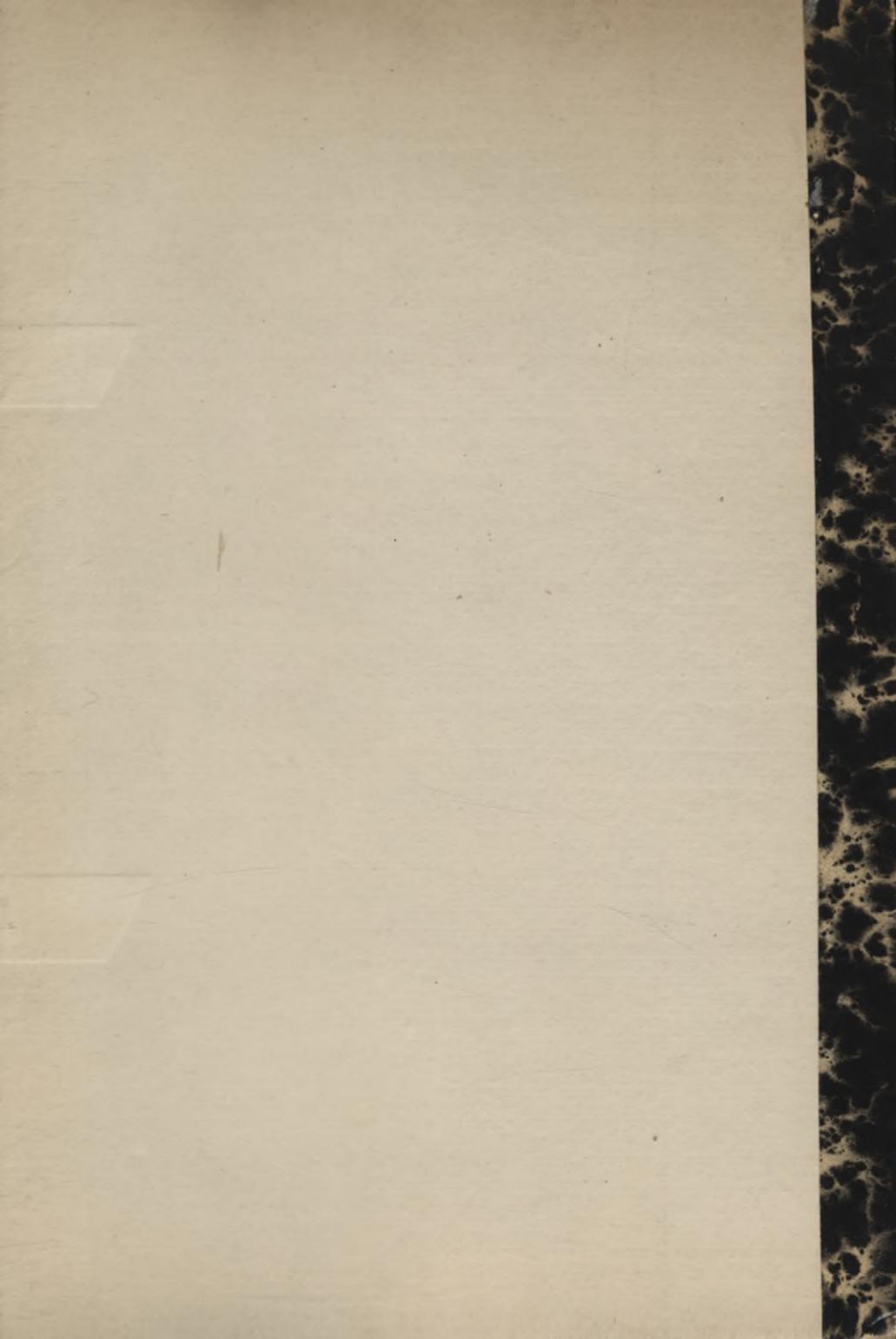
Tabelle II.

Zusammensetzung des aus den Versuchskörpern I, II und IV nach Beendigung der Versuche ausgewaschenen Schlammes.

	Versuchskörper I (Grobkörnige Koks- asche)		Versuchskörper II (Feinkörnige Koks- asche)		Versuchskörper IV (Feinkörnige Koks- asche)	
	Drai- nierter	Wasser- freier	Drai- nierter	Wasser- freier	Drai- nierter	Wasser- freier
	S c h l a m m %		S c h l a m m %		S c h l a m m %	
Wasser	74,2	—	59,1	—	59,1	—
Asche	9,3	36,0	20,9	51,0	20,9	51,0
Organische Sub- stanz	16,5	64,0	20,0	49,0	20,0	49,0
Kalk (CaO) . . .	1,2	4,7	3,6	8,8	3,9	9,5
Phosphor- säure (P ₂ O ₅) .	0,5	1,9	0,6	1,5	0,7	1,7
Eisen (Fe ₂ O ₃) . .	2,0	7,7	7,0	17,2	5,8	14,2
Gesamt-Stick- stoff	0,6	2,3	0,3	0,7	0,3	0,7



S. 61



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

31646

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000298418