Die Besichtigung der städtischen Abwasser-Kläranlage wurde eingeleitet durch folgenden Vortrag:

Die Abwasser-Kläranlage in Frankfurt a. M. und die dort bezüglich der Abwässerreinigung, Beseitigung und Verwertung der Rückstände gemachten Erfahrungen.

Von

Dr. J. Tillmans-Frankfurt a. M.

M. H.! Die Beseitigung der Abwässer ist neben der Versorgung mit einwandfreiem Trinkwasser eine der wichtigsten Aufgaben der modernen Städtehygiene geworden. Früher ließ man die städtischen Abwässer allgemein ganz ungereinigt den Flüssen zufließen; denn von jeher sind die Flußläufe von den Menschen als Rezipienten für die Abfallstoffe betrachtet worden, und dies ist einer der Gründe dafür, daß alle menschlichen Niederlassungen, von den Hütten und Höhlen des prähistorischen Menschen bis zu den wo und wann auch immer in späterer Zeit gegründeten Städten, an Flußläufen oder in deren nächster Nähe angelegt sind.

Erst vor verhältnismäßig kurzer Zeit, nämlich einigen Jahrzehnten, ist man sich bewußt geworden, daß diese Art der Abwasserbeseitigung aus hygienischen, ästhetischen und ökonomischen Gründen zu den schwerwiegendsten Bedenken Veranlassung gibt.

Manche Städte sind auch heute noch auf die Versorgung mit Flußwasser zu Trinkzwecken angewiesen, das allerdings dann durch Filtration von dem größten Teil seiner Schmutzstoffe und Keime befreit wird. Abgesehen davon aber, daß das Filter die gelösten Schmutzstoffe nicht entfernt, Stoffe, deren Anwesenheit in einem Trinkwasser geeignet ist, dieses unappetitlich zu machen, schafft auch eine größere Verschmutzung des Flußwassers eine höhere Wahrscheinlichkeit, daß dennoch Krankheitskeime durch das Filter mit in das Reinwasser gelangen, da die Filter bekanntlich keine völlig keimdichten Apparate sind. Auch in den Städten, in denen das Flußwasser nicht zur Wasserversorgung dient, wird es dennoch vielfach zum Baden, Waschen, Straßensprengen und anderen Zwecken benutzt. Es liegt auf der Hand, daß auch für diese Zwecke eine Verschmutzung des Flußwassers mit menschlichen Abfallstoffen Gefahren für die Gesundheit mit sich bringen kann. Die dem Flusse zugeführten Schmutzstoffe werden nun zwar in einem wasserreichen und schnellfließenden Vorfluter infolge der bekannten Selbstreinigung schnell unschädlich gemacht. Handelt es sich aber um einen kleinen Fluß — die Zahl der Städte, die in der glücklichen Lage sind, über einen wasserreichen Flußlauf zu verfügen, ist eine verhältnismäßig beschränkte —, so ist meistens die Folge des fortgesetzten Einlebens von Schmutzstoffen die Verschlammung des Flusses, weil die die Selbstreinigung bewirkenden Kräfte für die Verarbeitung der dem Flusse zugemuteten Schmutzmengen nicht ausreichen. Noch heute gibt es in Deutschland viele kleineren Flüsse, die innerhalb und in der nächsten Umgebung der Städte einen sehr verschmutzten und unästhetischen Anblick darbieten. Endlich wird durch die Verunreinigung der Flüsse auch die Fischzucht geschädigt, da durch eine stärkere Verschmutzung eines Flußlaufes mit derartigen Abfallstoffen die Fische in großen Massen zugrunde gehen.

Aus diesen Erwägungen ergibt sich deshalb, daß die städtischen Abwässer vor dem Ablassen in die Flußläufe ausreichend gereinigt werden müssen.

Wie die Stadt Frankfurt a. M. in allen großen Fragen der Städteentwicklung stets eine führende Rolle eingenommen hat, so war sie auch die erste Stadt nicht nur Deutschlands, sondern sogar des gesamten Kontinents, die eine Anlage zur Reinigung ihrer Abwässer gebaut hat.

Welche Systeme stehen nun zur Reinigung derartiger Abwässer zur Verfügung? Es sind eine ganze Reihe von Verfahren vorgeschlagen, von denen aber nur drei größere Bedeutung erlangt und sich in der Praxis bewährt haben, nämlich

1. die Reinigung auf mechanischem Wege mit oder ohne Zusatz von Chemikalien,
2. das biologische Reinigungsverfahren und
3. das Berieselungsverfahren.

Von diesen Verfahren ist das Berieselungsverfahren zweifellos das wirksamste, dann folgt das biologische Verfahren, während die mechanischen Reinigungsverfahren erst an letzter Stelle stehen.

Die Frage aber, welches der drei Verfahren am zweckmäßigsten für die Reinigung der städtischen Abwässer in Anwendung gebracht wird, kann nicht generell für alle Städte beantwortet werden, sondern nur von Fall zu Fall unter Berücksichtigung aller in Betracht kommenden Umstände. Neben der Größe und Art der Stadt, ob Fabrikstadt oder nicht, und den örtlichen Verhältnissen, ob billiges Land in größerer Ausdehnung zur Verfügung steht oder nicht, ob die etwa abfallenden Rückstände in einwandfreier Weise beseitigt werden können u. s. w., hängt die Entscheidung über das zu wählende Reinigungsverfahren vor allem ab von der Größe d. i. der Wassermenge und Stromgeschwindigkeit des Flusses, in den die Abwässer abgeleitet werden sollen. Bei einem kleinen, wasserarmen Flusse muß eine ausgiebigere Reinigung gefordert werden, während ein größerer Fluß beträchtliche Mengen von Schmutzstoffen durch seine selbstreinigende Kraft in kurzer Zeit vernichtet.

Nach von Pettenkofer werden in einem Flusse mit einer Geschwindigkeit von wenigstens 0,6 Sekundenmeter, in dem das Kanalwasser mindestens 15-fach verdünnt wird, die Schmutzstoffe des Kanalwassers durch Selbstreinigung unschädlich gemacht. Für den Main bei Frankfurt wird diese Mindestforderung hinsichtlich der Verdünnung selbst bei niedrigem Wasserstande noch um das 10-fache nach oben überschritten. — Die Geschwindigkeit läßt sich infolge der 1883—1886 zwischen Frankfurt und Mainz erfolgten Kanalisierung des Maines nicht genau angeben. Sie beträgt bei niedrigem Wasserstande etwa 0,60 Sekundenmeter bei gestautem Flusse, bei niedergelegten Wehren 0,90 Sekundenmeter. Bei höheren Wasserständen steigt die Geschwindigkeit natürlich mit der Zunahme des Wassers an. Die Verdünnung ist daher eine so große, daß für Frankfurt eine mechanische Reinigungsanlage als vollkommen ausreichend erachtet werden muß. Daß der Main durch die Abwässer Frankfurts nur in kaum nachweisbarer Weise verunreinigt wird, und daß diese Verschmutzung schon eine kurze Strecke unterhalb des Einflusses der Abwässer überhaupt nicht mehr nachweisbar ist, dafür werde ich Ihnen weiter unten Belege anführen.

Ich will Ihnen nun zunächst, m. H., eine kurze Beschreibung der Anlage in ihrer geschichtlichen Entwicklung geben und dann auf die hier ausgeführten Versuche und Untersuchungen näher eingehen.

I. Beschreibung der Kläranlage¹⁾.

A. Die alte Anlage.

Die Kanalisation Frankfurts wurde im Jahre 1867 begonnen; 1871 wurde auf Grund eines Gutachtens v. Pettenkofer's auch der Anschluß von Wasserklosetts an das Kanalnetz genehmigt. Die Abwässer wurden ungefähr an der Stelle, an der heute das Elektrizitätswerk steht, in den Main abgelassen.

Infolge von Beschwerden aber über die Verunreinigung des Maines von seiten unterhalb Frankfurts gelegener Ortschaften verlangte die Königliche Regierung von der Stadt die Reinigung der Abwässer durch Rieselfelder.

Die Stadt, die sich schon seit 1873 mit dem Gedanken trug, die Ausflußstelle mehr nach unterhalb zu verlegen und die Abwässer vor Auslaß in den Main von den groben Verunreinigungen zu befreien, vertrat aber demgegenüber die Meinung, daß für Frankfurt eine mechanische Anlage genüge, ein Standpunkt, dem die Regierung nach langen Verhandlungen unter der Voraussetzung beitrug, daß die mechanische Reinigung durch Zusatz von Chemikalien verstärkt werde. Am 31. Oktober 1882 wurde das von der Stadt vorgelegte Projekt genehmigt. Aus verschiedenen, hier nicht näher zu erörternden Gründen wurde als Ort für die Anlage eine Stelle am linken Mainufer unterhalb des Vorortes Niederrad bestimmt, trotzdem dann das Frankfurter Kanalwasser, da Frankfurt ja auf dem rechten Mainufer liegt, mittels Düker unter dem Main hergeleitet werden mußte. Ferner entschied man sich aus einer Reihe von Gründen dafür, die Klärbecken tief zu legen, so daß das Kanalwasser in freiem Gefälle zur Kläranlage fließen konnte, aber noch genügend freien Abfluß zum Maine besaß. Durch die Tieflegung wurden umfangreiche Ausschachtungsarbeiten und eine Übermauerung der Klärbecken nötig, die aber anderseits den Vorteil hatte, daß die Anlage vor den Einflüssen von Frost, Regen und Wind etc. geschützt war.

Ich bitte Sie nun, m. H., in dem Ihnen übergebenen Werk von Kölle und Uhlfelder die Skizze auf S. 4 von der alten Anlage aufzuschlagen.

Der linksmainische Sammelkanal mündete neben dem rechtsmainischen, unter dem Main hergeführten in dem 6 m breiten Sandfange. Hier findet eine Verlangsamung der Wassergeschwindigkeit auf ungefähr $\frac{1}{10}$ der Geschwindigkeit im Kanalnetz statt. Die Folge davon ist, daß die schweren und groben Stoffe, vor allem Sand, etc. sich zu Boden setzen. Das Wasser floß dann unter einer 40 cm tief eingetauchten Platte durch, wodurch der größte Teil der schwimmenden Stoffe wie Fäkalien, Papier u.s.w. zurückgehalten wurden. Die durchgegangenen Schwimmstoffe wurden dann mit Hilfe von schräg gestellten, aus Eisenstäben mit je 25 mm Zwischenräumen hergestellten Rechen zurückgehalten. Das so vorgereinigte Wasser trat nun in den Mischraum ein, in dem die in 2 Rohrleitungen aus dem Maschinenhause zufließenden Lösungen der Chemikalien (meist Kalkmilch und schwefelsaure Tonerde) zugemengt wurden. Von da ab floß das Wasser in die ebenfalls 6 m breite Einlaufgalerie, in der sich schon ein Teil der Schwebstoffe abschied und von dort in die 4 parallel mit dem Main gelegenen 82,4 m langen Klärbecken. Hier wurde die Geschwindigkeit des Wassers nochmals auf $\frac{1}{10}$, also insgesamt auf $\frac{1}{100}$ der ursprünglichen Geschwindigkeit im Siel reduziert. Infolgedessen setzten sich hier auch noch die feineren suspendierten Stoffe zu Boden und das Abwasser trat, von dem größten Teil seiner Schmutzstoffe befreit, in die Ablaufgalerie und von da in den Main ein.

¹⁾ Vergl. Kölle und Uhlfelder, Die Reinigung der Abwässer in Frankfurt a. M. Besondere Schrift, herausgegeben vom städtischen Tiefbauamte Frankfurt, 1903.

Die Klärbecken waren 82,4 m lange, etwa 5,5 m breite Becken, die am Einlauf einen zweiseitigen durch vollkommen unter Wasser liegende Schieber verschließbaren Wehrrücken besaßen, über den das Wasser in dünnem Strahle in die Kammer floß. Der Auslauf erfolgte ebenfalls über einen zweiseitigen Wehrrücken, der durch Schützen die Kammern von der Auslaufgalerie und dem Maine absperren konnte. Außerdem hatte die Auslaufseite der Becken einen Unterwasserschieber und einen Oberwasserschieber, die zum Entleeren der Kammern dienten. Die Sohle der Kammern war gewölbt, ihr Gefälle vom Einlauf zum Ablauf betrug 1:80. Am Ablauf war in der Sohle der Becken eine Vertiefung, ein sogenannter Pumpsumpf angebracht, der zum Entfernen des Schlammes mittels Abpumpens aus einer in den Sumpf hineinragenden Rohrleitung diente. Die Ablaufgalerie war 3 m breit und lief aus in den 1,40 m breiten, runden Ablaufkanal, der bis in die Mitte des Mainstromes führte. Bei Hochwasser wurde er mittels einer Klappe und eines Schiebers vom Main abgeschlossen.

Die Entfernung der im Sandfang niedergeschlagenen Rückstände geschah mit Baggerschaufeln, die mit der Hand bedient wurden. Ebenso wurde der Rechen von Arbeitern durch Harken mit langen Stielen von den Schmutzstoffen befreit, die in eine Rinne gekratzt wurden. Die Bagger und Rechenrückstände wurden dann in Kübeln nach den Lagern abgefahren.

Auch die Reinigung der Zulaufgalerie, in der sich infolge ihrer Breite und der Art des Einlaufs des Wassers in die Kammern schon eine große Menge Schlamm niederschlug, geschah mit der Hand durch Baggerschaufeln. Alle 4 Wochen mußte jedoch eine gründliche Reinigung der Einlaufgalerie erfolgen, bei der die Anlage außer Betrieb gesetzt werden mußte.

Die Reinigung einer Kammer erfolgte auf folgende Weise: Die Kammer wurde von der Einlaufgalerie abgeschlossen und das Wasser dann durch den am Auslauf befindlichen Oberwasserschieber bis auf das Niveau des Ablaufkanals abgelassen. Dann wurde das übrige Wasser bis auf den Schlamm durch den Unterwasserschieber in einen unter der Ablaufgalerie liegenden Entleerungskanal abgelassen, von wo es in die Einlaufgalerie zurückgepumpt wurde. Der in der Kammer verbleibende Schlamm wurde dann durch Schlammumpen abgesaugt. Dabei mußte der weiter entfernt liegende Schlamm durch Schieben mit Schaufeln dem Pumpensumpf zugeführt werden.

Die Menge der zugesetzten Chemikalien wechselte mit dem Grade der Verunreinigung des Wassers. Man unterschied 8 verschiedene Verschmutzungsgrade, die vor dem jedesmaligen Zusatz der Chemikalien in der Weise ermittelt wurden, daß von einem Arbeiter 1 l Abwasser mit 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 und 400 ccm Tonerdesulfat (enthaltend 1 g Tonerdesulfat mit 14% löslicher Tonerde im Liter) und mit 12,5, 25, 37,5, 50, 62,5, 75, 87,5 und 100 ccm Kalkmilch (enthaltend 1 g Ätzkalk im Liter) versetzt und nach dem Umrühren beobachtet wurde, bei welchem Zusatz sich der Niederschlag am besten absetzte. Der gefundene Grad wurde dann in das Maschinenhaus gemeldet und hier dementsprechend die Chemikalienlösungen für den Zusatz hergestellt.

An Gebäuden hatte die alte Anlage, ebenso wie die neue das Verwaltungsgebäude, das Maschinenhaus mit den verschiedenen Kesseln, Pumpen und den sonstigen maschinellen Einrichtungen, ein Wohnhaus für Betriebsbeamte und ein Haus mit Räumen für die Arbeiter. Ferner gehörten zu der Anlage die Schlammlager und der Versuchsgarten.

Die Anlagekosten betrugen 707 000 Mk., die sich aber durch Neuanschaffungen und Verbesserungen bis zum 1. April 1902 auf 859 400 Mk. erhöhten.

Die Betriebskosten betrugen im Geschäftsjahre 1901 148 600 Mk., denen aber 3800 Mk. Einnahmen durch Verkauf von Rückständen und landwirtschaftlichen Produkten, die auf der Kläranlage gezogen waren, gegenüberstanden, so daß eine Ausgabe von 144 800 Mk. oder 0,56 Mk. pro Kopf der Bevölkerung verblieb. In diesen Betrag sind die Kosten für die Chemikalien miteingeschlossen, die durchschnittlich jährlich 45 000 Mk. oder 0,17 Mk. pro Kopf betrugen.

B. Die heutige Anlage.

Bei den zahlreichen chemischen Untersuchungen des ungereinigten und gereinigten Abwassers (vergl. weiter unten) hatte sich herausgestellt, daß die Wirkung der Chemikalien auf den Kläreffekt eine außerordentlich geringe ist und daß rein mechanisch ohne Verwendung von Chemikalien ebensogut geklärt werden kann.

Deshalb wurde im September 1902 der Chemikalienzusatz mit Genehmigung der Königlichen Regierung eingestellt, dagegen verlangte die Regierung eine Vergrößerung der Kläranlage. Die ursprünglich vorgeschriebene Geschwindigkeit des Abwassers in den Kammern von 4 mm pro Sekunde hatte sich nämlich infolge des Wachstums der Stadt und der dadurch erfolgten Vermehrung der Abwässer nach und nach erhöht, so daß nach Ansicht der Aufsichtsbehörde die vorhandenen vier Kammern für eine ausreichende Reinigung der Abwässer nicht mehr genügten. Auf die große Länge von 82 m wurde dagegen kein Gewicht gelegt, so daß die Kammern halbiert werden konnten. Danach wurde die Anlage in 14 Kammern zu je 40,6 m Länge umgebaut, wobei dann die Einlaufgalerie in die Mitte der Anlage verlegt werden mußte, was auch die Verlegung des Sandfanges, der Rechen und der Einlaufkanäle zur Folge hatte, so daß also je 7 Kammerpaare rechts und links von der Einlaufgalerie entstanden sind, die das Wasser in entgegengesetzter Richtung durchfließt. Ebenso wurde dadurch der Bau einer zweiten Ablaufgalerie erforderlich, die mit der ersten durch einen parallel mit den Klärbecken gelegten übermauerten Kanal in Verbindung steht.

Bei der Umänderung war gleichzeitig das Augenmerk darauf gerichtet, die Einrichtungen so zu gestalten, daß die Reinigung der Rechen, des Sandfanges und die Entfernung des Schlammes aus den Kammern so weit als möglich maschinell vollzogen werden konnte, so daß eine Berührung der Arbeiter mit den Rückständen in Wegfall kam.

Die umgebaute Anlage hat also, wie Sie aus der Skizze auf S. 19 der Schrift von Kölle und Uhlfelder ansehen wollen, folgendes Aussehen: Der linksmainische Hauptsammler vereinigt sich kurz vor dem Eintritt in die Kläranlage mit dem unter dem Main hergeführten rechtsmainischen Hauptsammler. Der Einlaufkanal geht allmählich in den 8,8 m breiten und 2,85 m tiefen Sandfang über. Die hier abgeschiedenen Stoffe werden durch eine Baggermaschine, die vom einen Ende des Sandfanges zum anderen Ende fortbewegt werden kann, ausgebaggert und auf ein Transportband geworfen, das die Rückstände in Wagen kippt.

Hinter den Sandfang sind die drei Rechen eingebaut. Diese haben gegenüber der alten Anlage eine vollständige Umänderung erfahren. Das von dem hiesigen Stadtbauinspektor Uhlfelder erfundene System gestattet ein vollkommen selbsttätiges Arbeiten. Die Rechen, die einen Durchmesser von 6 m und eine Breite von 2 m haben, stellen gleichsam Räder mit je 5 Schaufeln dar, wie Sie aus Abbildungen 27 auf S. 37 der Ihnen übergebenen Schrift ansehen können. Diese Schaufeln bestehen aus nebeneinander gelegten Eisenstäben, die einen Abstand von je 10 mm haben. Die Schaufeln streichen dem Strom entgegen durch das Wasser und holen die Schwimmstoffe heraus. Eine Bürste streicht dann die abgefangenen Stoffe auf ein Transportband, das die Rückstände in einen Wagen kippt. Die mit Sandfang- und Rechenrückständen gefüllten Wagen werden durch einen Aufzug nach oben befördert und von hier auf einem besonderen Geleis nach den Lagern abgefahren.

Die Einlaufgalerie hat nur eine Breite von 2 m gegenüber 6 m der alten Ein-

laufgalerie, wodurch die Niederschläge hier infolge der erhöhten Geschwindigkeit gegen früher sehr reduziert sind.

Die 40,6 m langen Kammern haben je 7,5 m vom Ein- und Ablauf entfernt zwei Pumpensümpfe. Die Kammersohle ist so gestaltet, daß sie in der Mitte erhöht ist und mit einem Gefälle von 1:10 zu den Sümpfen abfällt. Mit demselben Gefälle senkt sich die Kammersohle vom Ein- und Ablauf zu den Sümpfen ab. Diese Gestaltung der Kammersohle hat den Zweck, daß der Schlamm von selbst zu den Sümpfen, aus denen er abgepumpt wird, nachgleitet und so ein Nachschieben mit Schaufeln, wie bei der alten Anlage, überflüssig wird.

Der Einfluß des Wassers in die Becken erfolgt durch je zwei breite, vollkommen unter Wasser liegende, durch Schützen verschließbare Öffnungen. In der alten Anlage floß das Wasser über einen Wehrrücken in die Kammer ein, was aber den Mißstand gezeitigt hatte, daß, wenn viel Wasser zufloß, dieses mit ziemlicher Gewalt in die Becken strömte, dadurch das Wasser in Bewegung brachte und den am Einlauf schon abgelagerten Schlamm zum Teil wieder aufwirbelte. Die neue Einrichtung ermöglicht ein vollkommen ruhiges Einfließen des Wassers, ohne daß ein Aufwirbeln des Schlammes am Einlauf erfolgt.

Der Auslauf erfolgt in ähnlicher Weise wie bei der alten Anlage über einen doppelten, durch Schützen verschließbaren Wehrrücken. Außerdem befinden sich am Ablauf zu Spülzwecken zwei Unterwasserschieber. Am Einlauf befindet sich in geringer Höhe über der Sohle ein Unterwasserschieber, der zum Ablassen des Wassers bei Entleerung einer Kammer dient. Die neu erbaute Ablaufgalerie ist 1,30 m breit, die alte wurde von 3 auf 2 m Breite reduziert, um sie leichter reinigen zu können. Der in den Main reichende Ablaufkanal blieb ebenso wie die Absperrungsvorrichtungen ungeändert.

Die Reinigung einer Kammer geschieht in folgender Weise: Die Kammer wird zunächst von der Einlaufgalerie abgeschlossen und dann das Wasser, solange es abläuft, über das Überfallwehr an der Ablaufgalerie abgelassen. Das Ableiten des übrigen Wassers geschieht dann durch eine unter der Einlaufgalerie liegende 30 cm weite Rohrleitung und zwar wird das Wasser durch die eben erwähnten, am Einlauf befindlichen Unterwasserschieber in eine andere Kammer abgelassen, bei deren Betrieb es nochmals mitgeklärt wird. Dieses heutige System hat gegenüber dem der alten Anlage den Vorzug, daß die Kosten für die Abpumpung des Wassers vom Entleerungskanal in die Einlaufgalerie gespart werden. Der zurückbleibende Schlamm wird dann vermittelt einer Saug- und Druckpumpe durch eine Rohrleitung, die in die Pumpsumpfe hineinragt, in einen großen Kessel gesaugt und von hier nach den Schlamm lagern gedrückt.

Bei Hochwasser im Main muß, um zu vermeiden, daß das Mainwasser in die Anlage eintritt, der Ablaufkanal vom Main abgesperrt werden. Das gereinigte Wasser wird dann durch Pumpen mittels besonderer Leitungen aus der Auslaufgalerie in den Main gepumpt.

Um zu Epidemie-Zeiten das Abwasser vor dem Einleiten in den Fluß desinfizieren zu können, sind gemauerte Behälter vorhanden, in die die Abwässer aus der Ablaufgalerie gepumpt werden würden. Hier können sie mit Chlorkalk oder anderen desinfizierenden Stoffen gemischt und dann nach dem Absitzenlassen in den Main abgepumpt werden.

Die Gesamtkosten des Umbaues betrugen 976 000 Mk. Die jährlichen Betriebskosten betragen zurzeit pro Kopf der Bevölkerung:

1. Für den eigentlichen Betrieb	0,45 M.
2. Zinsen und Tilgung des Anlagekapitals	0,25 „
3. Einlage in den Erneuerungsfond	0,05 „
4. Allgemeine Verwaltungskosten	0,10 „
<hr/>	
Im ganzen	0,85 M.

Ich muß mich bei der Beschreibung der Anlage auf diese Angaben beschränken. Wegen der weiteren technischen Einzelheiten verweise ich Sie auf die mehrfach erwähnte Schrift von Kölle und Uhlfelder.

II. Die ausgeführten Versuche und Untersuchungen.

A. Über die Abwässerreinigung.

1. Wirkung verschiedener Chemikalien und Parallel-Versuche mit chemischer und rein mechanischer Klärung.

Sofort nach Inbetriebnahme der Anlage wurde die Abwässerreinigung in einer Anzahl von Versuchen studiert. In den Jahren 1887, 1888, 1889 und 1890 wurden durch Professor Lepsius vom hiesigen physikalischen Verein¹⁾ verschiedene Reihen von Klärversuchen unternommen, die in erster Linie den Zweck verfolgten, festzustellen, mit welchen Zusätzen das Abwasser am zweckmäßigsten gereinigt werde.

Es wurden vom ganz ungereinigten Kanalwasser, von dem vorgereinigten nach Zumischung der Chemikalien und dem Auslaufwasser an bestimmten Tagen mittags 12 Uhr Proben entnommen, wobei die zur Untersuchung verwendeten Proben aus einer Reihe von Einzelproben, die vom Grunde, aus der Mitte und von der Oberfläche genommen waren, gemischt wurden. Größere Fäkalmassen wurden sorgfältig verrieben.

Versuch 1–3 wurde in der Weise angestellt, daß auf jedes Liter Abwasser 0,180 g Tonerdesulfat (mit 21% löslicher Tonerde) und 0,04 g Kalk in Form von Kalkmilch zugesetzt wurden. Der dabei ausgeschiedene Gips und das entstehende Tonerdehydrat bildeten einen flockigen, voluminösen Niederschlag, der beim Niederfallen die suspendierten Stoffe mitriß. Der folgende Versuch wurde mit Kalkmilch allein ohne Tonerdesulfat ausgeführt, wobei der doppeltkohlensaure Kalk, ferner die freie Kohlensäure und sonstige gelöste kohlensaure Salze kohlensauren Kalk ausschieden. Bei Versuch 5 wurde ohne Anwendung von Chemikalien rein mechanisch geklärt. Versuch 6 und 7 wurden unter Verwendung von Eisenvitriol und Kalk als Fällungsmittel ausgeführt. Die dabei vor sich gehende Umsetzung ist der der Tonerdesulfat-Kalk-Fällung ganz analog. Es scheidet sich Gips und das flockige Eisenoxydulhydrat aus. Bei diesen Versuchen wurden auch Tagesdurchschnittsproben des Abwassers untersucht.

Durch die Verwendung der bisher genannten Chemikalien wird der sich in den Becken absetzende Schlamm mit Stoffen beschwert, die für die Verwendung desselben zu Düngezwecken Ballast darstellen. In dem folgenden Versuche verwandte Lepsius deshalb Phosphorsäure und Kalk in der Hoffnung, daß die Phosphorsäure vollkommen in den Schlamm übergehen und dieser somit an diesem für die Landwirtschaft sehr wichtigen Stoff reicher und damit wertvoller werde. Der Zusatz zu einem Liter zu klärenden Wassers betrug 17,56 mg rohe

¹⁾ Jahresbericht des physikalischen Vereins Frankfurt a. M. 1887/88, 1888/89 u. 1889/90.

Phosphorsäure und 110,4 mg Kalk. Dabei entsteht der unlösliche phosphorsaure Kalk. Gleichzeitig kann aus den Magnesium- und Ammoniumsalzen des Kanalwassers das unlösliche Ammoniummagnesiumphosphat entstehen.

Die Ergebnisse dieser Versuche waren folgende:

1 Liter Wasser enthielt mg	Ungereinigtes ¹⁾ Kanalwasser. (Mittel aus Versuch 1-8)	Geklärtes Abwasser				
		Versuche 1-3	Versuch 4	Versuch 5	Versuche 6 und 7	Versuch 8
		Tonerdesulfat und Kalk	Kalk	Ohne Chemikalien	Eisenvitriol und Kalk	Phosphorsäure und Kalk
Gelöste Stoffe im ganzen	898	865	886	683	1006	675
Mineralstoffe (Glührückstand) .	381	582	503	375	585	335
Organische Stoffe (Glühverlust)	517	282	333	308	422	340
Stickstoff	75	58	68	34	103	35
Organischer Stickstoff . . .	11	7	23	4	8	0
Ammoniak-Stickstoff	63	51	45	30	95	35
Oxydierbarkeit (mg Sauerstoff)	18	13	4	10	9	11
Suspendierte Stoffe . .	1164	158	119	155	116	79
Mineralstoffe (Glührückstand) .	387	69	20	63	76	69
Organische Stoffe (Glühverlust)	806	89	99	92	39	10
Organischer Stickstoff . . .	45	4	4	10	1,5	10
Keimgehalt pro cem ²⁾ . . .	3 051 250	378 800	17 500	3 354 250	641 700	324 000

Aus diesen Versuchen ergibt sich:

a) Hinsichtlich der gelösten Stoffe. Diese werden, wie zu erwarten war, nur in sehr geringem Maße abgeschieden. Der Gehalt an gelösten mineralischen Stoffen steigt natürlich bei der chemischen Klärung. Hinsichtlich der organischen gelösten Stoffe verhält sich am günstigsten die Tonerde-Kalk-Klärung, am wenigsten günstig die mit Eisensulfat und Kalk.

b) Hinsichtlich der suspendierten Stoffe. Die Art der Klärung, ob mit Tonerdesulfat und Kalk, mit Kalk, ohne Chemikalien, mit Eisenvitriol und Kalk, oder mit Phosphorsäure und Kalk ist von wenig erheblichem Einfluß auf die Abscheidung der suspendierten Stoffe. Die organischen suspendierten Stoffe, auf die es ja hauptsächlich ankommt, werden am besten bei der Phosphorsäure-Kalk-, am schlechtesten bei der Kalkklärung entfernt.

c) Hinsichtlich der Stickstoffverbindungen. Die suspendierte Stickstoffsubstanz wird überall in reichlichem Maße abgeschieden. Die gelösten Stickstoffverbindungen werden im allgemeinen nicht entfernt. Am ungünstigsten ist auch hier das Ergebnis bei der Eisensulfatkalkklärung und der Klärung mit Kalk allein.

Bei der Kalk-Klärung werden also die suspendierten Stoffe am wenigsten gut abgeschieden, während bei der Eisensulfat-Kalk-Klärung am ausgiebigsten entfernt werden; dagegen bleibt dieses Verfahren überall hinsichtlich der gelösten Stoffe im Rückstand. Die Klärung mit Phosphorsäure und Kalk ist nach den vorliegenden Zahlen bezüglich des Kläreffektes entschieden die beste; es zeigte sich aber, daß die

¹⁾ Wegen der außerordentlich großen Schwankungen der Zahlen für das ungereinigte Kanalwasser ist aus allen Versuchen das Mittel berechnet worden.

²⁾ Die bakteriologischen Untersuchungen sind von Sanitätsrat Dr. Libbertz ausgeführt.

Phosphorsäure zu einem beträchtlichen Teil sich im Ablaufwasser befand und somit verloren ging. Da nun aber die kostspielige Phosphorsäureklärung nur dann praktisch angewendet werden konnte, wenn die Phosphorsäure zum allergrößten Teil im Schlamm wieder erhalten wurde, so war dieses Verfahren auszuschalten.

Von chemischen Klärmethoden erwies sich danach im großen und ganzen die Tonerde-Kalk-Klärung als die zweckmäßigste, die dann in der Tat jahrelang angewandt worden ist.

Im Jahre 1891 studierte Lepsius in drei Versuchen den Einfluß des Gehaltes von Tonerdesulfat an löslicher Tonerde auf den Kläreffekt. Er wandte drei verschiedene Tonerdesulfate mit 9, 11 und 14 % löslicher Tonerde an und fand, daß bei Verwendung des Sulfates mit 14 % löslicher Tonerde die besten Ergebnisse erhalten wurden. Von der Mitteilung der Zahlen sehe ich ab.

Diese ersten Lepsius'schen Versuche sind jedoch meines Erachtens aus mehreren Gründen nicht ganz einwandfrei, worauf auch, wie ich nachträglich erfahre, von anderer Seite schon hingewiesen ist. Einmal kann die Probenentnahme vor Sandfang und Rechen, wenn sie auch mit den allergrößten Vorsichtsmaßregeln geschieht, keine genaue Durchschnittsprobe liefern. Im ungereinigten Kanalwasser schwimmen nämlich Fäkalien, Papier u. s. w. in ganz unregelmäßiger Menge. Da ist es nun für die Zusammensetzung der entnommenen Probe von erheblichem Einfluß, ob man in dem relativ kleinen Wasserquantum einen, zwei oder mehr derartiger Stoffe mitbekommt und durch Verreiben im Wasser verteilen muß.

Sodann vergleicht Lepsius die um dieselbe Zeit einmal am Tage — nämlich mittags 12 Uhr — entnommenen Ein- und Ablaufwässer miteinander. Das Wasser gebraucht aber, um den Weg vom Einlauf zum Ablauf zurückzulegen, mehrere Stunden und ist zu den verschiedenen Stunden des Tages sehr verschieden zusammengesetzt, worauf ich noch weiter unten näher eingehen werde. Deshalb entspricht das Ablaufwasser von 12 Uhr mittags dem Einlaufwasser von etwa 9—10 Uhr morgens, und kann daher eigentlich nicht mit dem Einlaufwasser von 12 Uhr mittags in Vergleich gestellt werden. Dieser Umstand drückt sich besonders deutlich aus in dem ganz verschiedenen Gehalt des Ein- und Ablaufwassers an gelösten Stoffen.

Endlich geben die Lepsius'schen Zahlen für die Glühverluste nicht annähernd den Gehalt des Wassers an organischen Stoffen an, da er den Glühverlust in der Weise bestimmte, daß er den Abdampfdruckstand zuerst über der Bunsen-Flamme und dann über dem Gebläse weiß brannte¹⁾. Bei diesem Verfahren wird natürlich der beträchtliche Gehalt des Abwassers an Kochsalz zum großen Teil mit als Glühverlust bestimmt.

Ein Ergebnis der Lepsius'schen Versuche aber, das von diesen Unregelmäßigkeiten unberührt bleibt, ist die Tatsache, daß die Chemikalien, sei es nun Tonerde und Kalk, Eisenvitriol, Phosphorsäure u. s. w., einen sehr geringen Einfluß auf die Beseitigung der Schwebestoffe haben. Die Entfernung dieser Stoffe durch die Kläranlage ist vielmehr in der Hauptsache der einfach mechanischen Wirkung der Klärbecken zuzuschreiben. Ebenso ist die Einwirkung der Chemikalien auf die gelösten Stoffe nur eine äußerst geringe.

Dieses letztere Ergebnis steht auch völlig im Einklang mit den schon früher gemachten Beobachtungen. In der ersten Ausgabe seines Werkes „Die Verunreinigung der Gewässer etc.“²⁾ sagt J. König z. B.:

¹⁾ Jahresbericht des physikalischen Vereins Frankfurt a. M. 1887/88, S. 55.

²⁾ Berlin, bei Julius Springer, 1887, S. 74.

Durch chemische und mechanische Fällungs- resp. Reinigungsmittel ist es im allgemeinen nur möglich die suspendierten Schlammstoffe zu fällen, denn ebensowenig wie für Ammoniak und Kali, ebensowenig besitzen wir für die gelösten organischen Stoffe durchgreifende Fällungs- und sonstige Reinigungsmittel. Die Fällung der gelösten organischen Stoffe kann nur in beschränktem Maße durch chemische Fällungsmittel unterstützt werden“.

Im Jahre 1891 wurden durch Dr. Popp und Dr. Becker 2 Klärversuche unter Verwendung von schwefelsaurer Tonerde und Kalk bzw. schwefelsaurer Tonerde und Dolomit ausgeführt. Bei diesen Versuchen, bei denen die Probenentnahme am Einlauf ebenfalls mittags 12 Uhr erfolgte, wurde die Auslaufprobe entsprechend der ermittelten Geschwindigkeit des Wassers später genommen, sodaß es sich bei den Auslaufproben in diesen Fällen um Abwasser handelt, das den Einlaufproben entspricht. Die Ergebnisse waren folgende pro Liter:

		26. VI. 91		20. VII. 91		
		Klärung: Schwefelsaure Tonerde + Kalk		Schwefelsaure Ton- erde + Dolomit		
		Einlauf- wasser	Ablauf- wasser	Einlauf- wasser	Ablauf- wasser	
Sus- pen- dierte Stoffe	Gesamtmenge	319,5 mg	72,0 mg	633,0 mg	78,0 mg	
	Mineralstoffe	118,0 "	24,0 "	266,0 "	5,0 "	
	Organische Stoffe	201,5 "	48,0 "	367,0 "	73,0 "	
	Stickstoff {	Gesamt-	9,6 "	4,0 "	76,7 "	8,0 "
		organischer	5,8 "	3,2 "	75,0 "	8,0 "
		Ammoniak-	3,8 "	0,8 "	1,7 "	0 "
	Oxydierbarkeit (mg Sauerstoff)	41,3 "	18,0 "	49,1 "	31,0 "	
Ge- löste Stoffe	Gesamtmenge	782,5 "	770,0 "	821,0 "	717,0 "	
	Mineralstoffe	730,0 "	660,0 "	575,0 "	504,0 "	
	Organische Stoffe	52,5 "	110,0 "	246,0 "	213,0 "	
	Stickstoff {	Gesamt-	62,9 "	65,8 "	64,4 "	47,0 "
		organischer	1,5 "	0,7 "	3,9 "	5,0 "
		Ammoniak-	61,4 "	65,1 "	60,5 "	42,0 "
	Oxydierbarkeit (mg Sauerstoff)	57,0 "	13,7 "	42,4 "	6,1 "	
Keime in 1 ccm		705 920	122 570	2 010 000	163 000	

Diese Untersuchungen bestätigen das Ergebnis der Lepsius'schen Versuche hinsichtlich der geringen Wirkung der Chemikalien auf die gelösten Stoffe.

Im weiteren Verfolg dieser für die gesamte Abwasserreinigung hoch wichtigen Angelegenheit wurden in den Jahren 1899, 1900 und 1901 vom Tiefbauamte durch Professor Freund vom physikalischen Verein Parallel-Versuche mit chemischer und rein mechanischer Klärung ausgeführt.

Untersucht wurden sowohl Stundenproben als auch Tages-Durchschnittsproben des Ein- und Ablaufwassers, die jede Stunde hinter Sandfang und Rechen und am Ablauf entnommen wurden. Die letzteren wurden in der Weise gewonnen, daß die einzelnen Stundenproben gemischt wurden; von dieser Mischung wurde die Probe für die Untersuchung entnommen. Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, daß die Chemikalien statt wie im normalen Betriebe in der Einlaufgalerie in einer oder mehreren Kammern zugemischt wurden, während in den übrigen Kammern ohne Chemikalienzusatz geklärt wurde. In der folgenden Tabelle finden sich die Mittelzahlen aus den zahlreichen Untersuchungen der Tagesdurchschnittswässer. Auf die Mitteilung der Ergebnisse der Untersuchung von Proben einzelner Stunden oder bestimmter Tagesabschnitte verzichte ich. Zum Vergleich führe ich auch die bei den Lepsius'schen Klärversuchen mit schwefelsaurer Tonerde und Kalk einerseits und rein mechanischer Klärung andererseits erhaltenen Mittelzahlen an.

Art der Probe und Zeit der Untersuchung	Gelöste Stoffe							Suspendierte Stoffe						
	Gesamte Stoffe	Mineral- stoffe	Organische Stoffe	Oxydier- barkeit	Stickstoff			Gesamte Stoffe	Mineral- stoffe	Organische Stoffe	Oxydier- barkeit	Stickstoff		
					Gesamt-	flüch- tiger	orga- nischer					Gesamt-	flüch- tiger	orga- nischer
Lepsius (1887, 1888 und 1889).														
Ungeklärt	927	443	484	26,9	80,6	68,7	11,9	1390	435	955	120,8	56,8	2,4	54,4
Chemisch geklärt . .	948	706	230	16,5	66,5	59,4	7,2	122	53	65	12,5	6,9	4,9	2,4
Mechanisch geklärt .	683	375	308	9,5	34,1	30,3	3,8	155	63	92	24,5	—	—	10,1
Abnahme in %														
Chemisch geklärt . .	0	0	52	38,6	17,5	13,5	39,5	91	88	93	89,6	87,8	0	95,5
Mechanisch geklärt .	26	15	36	64,6	57,7	55,9	68,1	89	86	90	79,7	—	—	81,4
Freund (1899/1900). (Mittel verschiedener Versuche.)														
Ungeklärt	704	497	257	43,9	60,1	46,3	13,8	582	217	365	100,6	21,46	0,46	21,0
Chemisch geklärt . .	—	—	—	23,7	39,2	29,4	9,8	—	—	—	21,85	7,7	5,0	2,7
Mechanisch geklärt .	645	499	146	32,6	43,5	32,9	10,6	226	83	143	27,5	5,9	1,7	4,2
Abnahme in %														
Chemisch geklärt . .	—	—	—	46	35	36	29	—	—	—	78	64	0	87
Mechanisch geklärt .	8,4	0	43	26	28	29	23	61	62	61	73	72	0	80
Freund (1900.01). (Mittel aus 10 Ver- suchen.)														
Ungeklärt	623	395	228	32,9	38,9	26,0	12,9	536	244	292	69,9	19,0	1,8	17,2
Chemisch geklärt . .	592	398	194	30,6	42,8	29,7	13,1	193	97	96	24,2	5,5	1,3	4,2
Mechanisch geklärt .	615	394	221	30,2	45,4	30,0	15,4	197	116	81	34,7	6,8	2,5	4,3
Abnahme in %														
Chemisch geklärt . .	5	0	15	7	0	0	0	64	60	67	65	71	28	75
Mechanisch geklärt .	1,3	0,25	3,1	8	0	0	0	63	53	72	51	64	0	75

Besonders die letzte Versuchsreihe beweist zur Evidenz, daß die Abnahme an allen Stoffen bei der mechanischen Klärung durchweg ebenso hoch ist als bei der chemischen.

Im September 1902 wurde dann auch von der Königlichen Regierung die Einstellung des Chemikalienzusatzes genehmigt.

2. Klärung in verschieden langen Klärbecken.

Wie schon oben erwähnt, legte die nötig werdende Vergrößerung der Kläranlage den Gedanken nahe, die 82 m langen Klärbecken auf die Hälfte zu verkürzen, um so die doppelte Anzahl Becken zu gewinnen.

Eine erhebliche Herabsetzung des Kläreffektes brauchte dabei um so weniger befürchtet zu werden, als in einer Reihe von anderen deutschen Städten die Klärbecken zum Teil eine Länge von noch weniger als 40 m besaßen und dort dennoch die Abwässer in ausreichendem Maße gereinigt wurden. So waren die Becken von Kassel 40 m, die von Marburg 20 m, von Wiesbaden 30 m, von Köln 45 und von Mannheim 48 m lang. Die Regierung erteilte auch sofort ihre Zustimmung zu der Verkürzung der Becken auf 41 m.

Vorsichtshalber wurden aber dennoch vor Beginn des Umbaues Parallel-Ver-

suche über den Grad der Klärung in 82 m und 41 m langen Becken angestellt. In der Mitte einer Kammer wurde eine Mauer eingebaut und nun im normalen Klärbetriebe das Ablaufwasser sowohl am Überlauf über diese Mauer wie am Ablauf der unverkürzten Becken entnommen. Die Untersuchungen, die wieder von Professor Freund im Jahre 1901 ausgeführt wurden, lieferten folgendes Ergebnis:

Mittelzahlen aus 3 Versuchen.

Art der Probe	Gelöste Stoffe (mg im Liter)					Suspensierte Stoffe (mg im Liter)				
	Ge- samte Stoffe	Mine- ral- stoffe	Orga- nische Stoffe	Oxy- dierbar- keit	Stick- stoff	Ge- samte Stoffe	Mine- ral- stoffe	Orga- nische Stoffe	Oxy- dierbar- keit	Stick- stoff
Ungeklärt	739	420	319	38	41	1463	542	922	143	39
Geklärt { 82 m	654	388	270	27	37	89	27	62	13	6
in Becken von { 41 m	657	400	248	29	43	135	23	114	8	5
Abnahme in % { 82 m	12	8	16	29	10	95	95	93	91	98
bei Becken von { 41 m	11	3	12	24	0	91	95	88	95	99

Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß die Klärung in 82 m langen Becken gegenüber der in 41 m langen keine erheblichen Vorteile bietet, so daß die Verkürzung der Becken unbedenklich ausgeführt werden konnte.

3. Nachbehandlung der geklärten Abwässer in Oxydationsfiltern.

Die verlangte Vergrößerung der Kläranlage veranlaßte die Stadt, Versuche darüber anzustellen, ob nicht die geforderte ausgiebigere Reinigung der Abwässer zweckmäßiger durch biologische Nachreinigung des ablaufenden Wassers erreicht werden könne und damit vielleicht besser die Vergrößerung der vorhandenen Anlage durch den Bau von Oxydationsfiltern ersetzt werden könne. Es wurde deshalb eine kleine Versuchsanlage gebaut. Die Versuche wurden im Jahre 1902 von Professor Freund und Stadtbauinspektor Uhlfelder¹⁾ ausgeführt. Die Überwachung des Versuchsbetriebes übernahmen Geh. Med.-Rat Dr. Schmidtman und Professor Proskauer-Berlin.

Die Versuchsanlage zerfiel in 4 Abteilungen nämlich Einlaufbehälter, Vorfilter, 3 Hauptfilter und Auslaufkammer. Der Einlaufbehälter diente zum Sammeln und Mischen des durch eine Pumpe aus der Ablaufgalerie hierhergehobenen Wassers. Das Vorfilter war 3,5 × 3,5 m groß und enthielt eine Kiesschicht (0,5 m), darüber Sand (0,2 m) und Holzwolle (0,1 m). Die Hauptfilter waren ebenfalls 3,5 qm groß. Von ihnen wurden nur 2 in Gebrauch genommen. Sie waren je 1 m hoch mit geschlagenem Koks in Nußgröße gefüllt. Bei einem der Hauptfilter waren in dem Koks in Abständen von je 0,3 m von der Sohle und der Oberfläche zwei 5 cm hohe Schichten aus weichem Kalkstein in kleinen Brocken eingelegt. Unter dem Vorfilter, also zwischen diesem und den Hauptfiltern war ein 0,5 m hoher Tropfraum angeordnet, der mit der Außenluft in direkter Verbindung stand. Die Versuche wurden mit mechanisch gereinigtem Abwasser in der Weise ausgeführt, daß das Wasser langsam von oben in die Filter einlief, dort längere Zeit ruhig stand, dann langsam von unten abgezogen wurde, worauf das Filter zur Regenerierung einige Zeit leer stehen blieb. Im allgemeinen dauerte der Zulauf

¹⁾ Freund und Uhlfelder, Versuche mit Nachbehandlung der Frankfurter Abwässer in Oxydationsfiltern. — Deutsche Vierteljahresschrift für öffentliche Gesundheitspflege 1902, 34, Heft 2.

eine Stunde, der Aufenthalt in den Filtern 2 Stunden, der Ablauf eine Stunde und das Leerstehen mindestens 2 Stunden; doch wurden auch Versuche mit kürzeren Zeiten gemacht. Die Versuche wurden nur mit Tageswasser von Wochentagen ausgeführt, da das Nachtwasser wie das Sonntagswasser an sich schon sehr wenig verschmutzt ist. Das Ergebnis war im Mittel aller Versuche folgendes:

Art der Probe	Oxydierbarkeit (mg Sauerstoff für 1 l) der			Gelöster u. suspen- dierter Stickstoff (mg in 1 l)			Gelöster Stickstoff (mg in 1 l)			Suspendierter Stickstoff (mg in 1 l)		
	gesamten Stoffe	gelösten Stoffe	suspender- ten Stoffe	gesamter	flüchtiger	organischer	gesamter	flüchtiger	organischer	gesamter	flüchtiger	organischer
Mechanisch geklärtes Ab- wasser	71,1	37,2	33,9	55,8	33,2	17,6	49,2	37,1	12,1	8,9	2,0	6,9
Nach der Behandlung in den Filtern	35,5	24,2	11,3	33,0	22,4	10,6	30,4	22,0	8,4	4,6	1,5	3,1

Die Verminderung der gesamten Oxydierbarkeit beträgt also 50 %.

Der Gesamt-Stickstoff geht um 39,2 % zurück. Der Hauptanteil an diesem Rückgang kommt auf Rechnung des unschädlichen Ammoniakstickstoffes, der um 41,4 % abnimmt, während der organische Stickstoff um 40 % heruntergeht. Dieser Wert setzt sich zusammen aus 21 % suspendiertem und 19 % gelöstem Stickstoff.

Ein weiteres bemerkenswertes Ergebnis der Versuche war, daß schon in einem Zeitraum von 15—20 Minuten ein erheblicher Teil der Verunreinigungen entfernt wird, ein Ergebnis, welches dafür spricht, daß die Wirkung der Filter zu einem Teil rein physikalischen Ursachen zuzuschreiben ist, da nicht angenommen werden kann, daß eine nennenswerte, auf Bakterien zurückzuführende Wirkung innerhalb einer so kurzen Zeit eintritt. Nitrifizierende Bakterien spielen nach den vorliegenden Versuchen beim Reinigungsvorgang keine Rolle, da im gefilterten Wasser Nitrate und Nitrite nicht — ab und zu nur in Spuren — gefunden wurden. Ebenso wenig scheinen diese Bakterienarten an dem Reinigungsprozeß während des Leerstehens der Filter beteiligt zu sein, weil sich sonst in dem Ablaufwasser der nachfolgenden Beschickungen Nitrate oder Nitrite hätten finden müssen, was nicht der Fall war. Die gefilterten Abwässer waren stets fast klar und frei von üblem Geruch, selbst dann, wenn das eingefüllte Abwasser fäkalartig roch, und gingen auch beim Aufbewahren nicht in faulige Zersetzung über.

Auf die Entfernung der Bakterien übten die Filter einen wesentlichen Einfluß nicht aus. Die Untersuchungen erstreckten sich auf die allmähliche Abnahme der Aufnahmefähigkeit der Filter, wovon natürlich die Anlage- und Betriebskosten abhängen. Die eingehenden Untersuchungen in dieser Richtung ergaben, daß die Abnahme der Aufnahmefähigkeit der in die Filter eingetretenen Schmutzmenge entspricht und daher bei normalem Betrieb der Menge des durchgeleiteten Wassers proportional ist.

Eine hiernach angestellte überschlägige Berechnung der jährlichen Betriebskosten ergab, daß pro cbm täglich zu reinigenden Abwassers etwa 6 Mk. zu veranlagen wären. Dieser Preis ist so beträchtlich, daß man im Hinblick auf die verhältnismäßig geringe weitere Reinigung des Abwassers durch die Filter von der Einführung des Verfahrens abgesehen hat. Die Stadt entschloß sich nach diesen Versuchen also zu der Vergrößerung der mechanischen Kläranlage wie sie oben geschildert ist.

Die bisher besprochenen Versuche sind alle an der alten Anlage ausgeführt worden. Seit etwa 1 1/2 Jahren wird nun vom Tiefbauamte durch mich in zahlreichen Versuchen die Wirkungsweise der umgebauten Anlage studiert. Die Versuche werden noch weiter fortgesetzt, doch kann ich Ihnen von den bisherigen Ergebnissen schon einige interessante Mitteilungen machen.

4. Einfluß verschieden großer Klärgeschwindigkeiten auf den Kläreffekt.

Ich erinnere daran, daß die neue Anlage im ganzen 14 Becken von 40 m Länge besitzt. Ursprünglich war beabsichtigt, das gesamte Abwasser stets durch 12 Kammern zu leiten, entsprechend der Klärgeschwindigkeit von etwa 4 mm in der Sekunde. Wir haben nun den Einfluß der Klärgeschwindigkeit in der Weise untersucht, daß wir das gesamte ankommende Wasser eines Tages durch 2, 4, 6, 8, 10, 12 Kammern geleitet haben. Da das Nachtwasser sehr rein ist und eigentlich nur der Vorreinigung durch Sandfang und Rechen bedarf, haben wir nur Tagesabwasser (von 8 Uhr morgens bis 1 Uhr nachts einschließlich) zu den Versuchen herangezogen. Das Nachtwasser (2 Uhr nachts bis 7 Uhr morgens) wurde für sich entnommen und untersucht. Die Probenentnahme geschah pro Stunde hinter Bagger und Rechen und am Ablauf. Das Einlaufwasser stellt also das von groben Sink- und Schwimmstoffen befreite Abwasser dar. Die einzelnen Stundenproben des Ein- und Ablaufwassers wurden in großen Gefäßen vereinigt und hiervon eine Durchschnittsprobe für die Untersuchung entnommen. Sämtliche Proben wurden mit Chloroform konserviert.

Die Ergebnisse sind im Mittel der ausgeführten Versuche des vorigen Jahres folgende:

	2 Kam- mern	4 Kam- mern	6 Kam- mern	8 Kam- mern	10 Kam- mern	12 Kam- mern
Anzahl der ausgeführten Versuche . . .	3	12	10	10	9	10
Berechnete mittlere Geschwindigkeit des Wassers in den Becken (Sek.-mm) . . .	29	15	9,5	7,5	6	5
Abnahme an suspen- { gesamten	45,8	67,7	74,8	75,0	75,1	77,0 %
dierten Stoffen { organischen	32,4	64,4	70,9	73,5	73,2	72,2 „

Aus diesen Zahlen ergibt sich die wichtige Tatsache, daß die Unterschiede im Kläreffekt beim 6-, 8-, 10- und 12-Kammerbetrieb so minimal sind, daß sie praktisch nicht in Betracht kommen, so daß also mit 6, mindestens aber mit 8 Kammern ebenso gut geklärt wird als mit 12 Kammern. Das Niederschlagen der suspendierten Stoffe erfolgt also mit anderen Worten in ebenso bedeutendem Maße bei etwa 10 mm als bei 5 mm Klärgeschwindigkeit, ein Ergebnis, das in ähnlicher Weise auch bei den Klärversuchen in Köln ¹⁾ erhalten wurde.

Im Anschluß an diese Versuche konnte weiter nachgewiesen werden, daß etwa 10 % der suspendierten Stoffe des Einlaufwassers so fein sind, daß sie sich mechanisch überhaupt nicht absetzen. Unter Berücksichtigung dieses Befundes würden bei Benutzung von 6 oder 8 Kammern nur etwa 15 % noch ausscheidbare Stoffe in den Fluß gelangen, was wohl die Grenze der Leistungsfähigkeit einer mechanischen Kläranlage überhaupt ist.

Ein sehr interessantes Ergebnis unserer Versuche ist die Tatsache, daß nicht ausschließlich suspendierte sondern auch ein kleiner Teil der gelösten organischen Stoffe durch die Kläranlage beseitigt wird. Im Mittel aller Versuche wurde gefunden:

¹⁾ Mitteilungen der Kgl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung 1904, Heft 4.

Gelöste organische Stoffe		
ungeklärt	geklärt	Abnahme
227 mg	209 mg	7,9 %

Diese Erscheinung hängt mit der Tätigkeit der Mikroorganismen des Abwassers zusammen, die einen Teil der gelösten organischen Stoffe in Gase (Kohlensäure etc.) umsetzen, gleichsam veratmen. Da die Lebenstätigkeit der Organismen bei wärmerem Wetter grösser ist als im Winter, so muß auch im Winter der Einfluß auf die gelösten Stoffe am geringsten sein. Dies wird durch die Versuche bestätigt, die folgendes ergaben:

	Gelöste organische Stoffe		
	ungeklärt	geklärt	Abnahme
1./IV. bis 30./VI.	212 mg	194 mg	8,5 %
1./VII. bis 30./IX.	221 "	199 "	10,0 "
1./X. bis 31./XII.	249 "	236 "	5,2 "

5. Untersuchungen über die Vorreinigung durch Sandfang und Rechen.

Eine Probenentnahme des ganz ungereinigten Kanalwassers kann, wie ich schon oben erörtert habe, keine richtige Durchschnittsprobe liefern. Die Untersuchungen über die Vorreinigung führen wir deshalb in der Weise aus, daß wir die gesamten in einem Tage abgefangenen Rückstände in besonderen Wagen wiegen und eine genau entnommene Durchschnittsprobe der Sandfang- wie Rechenrückstände untersuchen. Aus den erhaltenen Zahlen und der gleichzeitig beobachteten Abwassermenge des Versuchstages wird dann der Gehalt des Kanalwassers an den durch die Vorreinigung beseitigten Stoffen berechnet.

Im Mittel der bisherigen Versuche werden durch die Vorreinigung insgesamt 101 mg pro Liter entfernt, wovon 61 mg organische und 40 mg mineralische Stoffe sind. Von diesen Mengen betragen die Sandfangrückstände etwa $\frac{2}{3}$ und bestehen etwa zur Hälfte aus organischer, zur anderen Hälfte aus mineralischer Substanz, während die Rechenrückstände $\frac{1}{3}$ der Gesamtrückstände betragen und zum allergrößten Teil organischer Natur sind. Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß die Frankfurter Vorreinigungsanlage eine hohe Leistungsfähigkeit besitzt, die gegenüber der alten Anlage beträchtlich erhöht ist, was der Verbesserung des Sandfanges und hauptsächlich der sinnreichen, neuen Rechenanlage zugeschrieben werden muß.

6. Zusammensetzung des Frankfurter Kanalwassers.

In verschiedenen Veröffentlichungen sind für die durchschnittliche Zusammensetzung des ungereinigten Kanalwassers Frankfurts Zahlen angegeben, aus denen geschlossen werden müßte, daß das Frankfurter Kanalwasser eins der schmutzigsten aller bisher näher untersuchten städtischen Kanalwässer sei. In Wirklichkeit ist jedoch gerade das Gegenteil der Fall, wie das auch bei dem im Vergleich mit anderen deutschen Städten sehr hohen Wasserverbrauch Frankfurts zu erwarten ist.

Der mittlere Wasserverbrauch einiger deutschen Städte betrug im Jahre 1903 pro Tag auf den Kopf der Bevölkerung berechnet:

Frankfurt . . . 180 l	Stettin . . . 68 l	Elberfeld . . . 100 l	Wiesbaden . . . 95 l
Berlin . . . 80 "	Leipzig . . . 73 "	Mannheim . . . 86 "	Mainz . . . 53 "
Hamburg . . . 171 "	Kiel . . . 66 "	München . . . 215 "	Dortmund . . . 239 "
Breslau . . . 83 "	Cöln . . . 120 "	Nürnberg . . . 79 "	Barmen . . . 186 "
Magdeburg . . . 94 "	Düsseldorf . . . 97 "	Cassel . . . 86 "	Bochum . . . 227 "

Diese irrigen Angaben über die Zusammensetzung des Frankfurter Kanalwassers scheinen nur durch eine falsche Auffassung der ersten von Prof. Lepsius ausgeführten Untersuchungen veranlaßt zu sein. Diese Untersuchungen beziehen sich, wie auch Lepsius in den betreffenden Arbeiten angibt, auf Kanalwasser, das mittags um 12 Uhr entnommen worden ist. Um diese Zeit ist aber, wie ich weiter unten noch ausführen werde, das Kanalwasser sehr stark verunreinigt, so daß man aus diesen Zahlen keinen Schluß auf die mittlere Tageszusammensetzung des Kanalwassers ziehen kann. Ich schalte deshalb die Lepsiusschen Zahlen für das Kanalwasser hier aus.

Die von Freund gefundene Zusammensetzung des vorgereinigten Kanalwassers (24 Stunden-Durchschnitt) ergibt sich aus den bei Besprechung der Parallel-Versuche mit chemischer und mechanischer Klärung mitgeteilten Zahlen.

Freund und Uhlfelder fanden bei den Oxydationsversuchen im Jahresdurchschnitt für das vorgereinigte Kanalwasser folgende Zusammensetzung (mg im Liter):

Gesamte Stoffe				Gelöste Stoffe			
Oxydier- barkeit	Stickstoff			Oxydier- barkeit	Stickstoff		
	Gesamt-	flüchtiger	organischer		Gesamt-	flüchtiger	organischer
71,1	55,8	38,2	17,6	37,2	49,2	37,1	12,1

Diese Zahlen beziehen sich nur auf Proben, die während der Tagesstunden entnommen wurden, so daß bei der schon erwähnten Reinheit der Nachtwässer sich die Zahlen für den 24 Stunden-Durchschnitt noch günstiger stellen.

Bei unseren oben angeführten Untersuchungen über den Kläreffect fand ich im Mittel folgende Znsammensetzung für das vorgereinigte Kanalwasser:

Tagesabwasser (8–1 Uhr)					Nachtabwasser (2–7 Uhr)				
Zahlder Ver- suche	Gelöste Stoffe		Suspendierte Stoffe		Zahlder Ver- suche	Gelöste Stoffe		Suspendierte Stoffe	
	gesamte	organische	gesamte	organische		gesamte	organische	gesamte	organische
54	783	227	368	211	44	613	137	119	70

Hinsichtlich der Zusammensetzung des Kanalwassers an den verschiedenen Tagen der Woche ergibt sich aus unseren Versuchen, daß das Wasser Samstags meist stärker verschmutzt und Sonntags meist reiner ist, als an den übrigen Wochentagen. Bei diesen letzteren läßt sich ein charakteristischer Unterschied in der Zusammensetzung des Abwassers nicht nachweisen. Deutliche Unterschiede ergeben sich aber im Gehalt an organischen gelösten und organischen suspendierten Stoffen, wenn man die Versuche nach Jahreszeiten trennt, da der Gehalt an diesen Stoffen im Frühjahr und Sommer geringer ist als im Winter, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Zeit der Untersuchung	Tagesabwasser				Nachtabwasser			
	Gelöste Stoffe		Suspendierte Stoffe		Gelöste Stoffe		Suspendierte Stoffe	
	gesamte	orga- nische	gesamte	orga- nische	gesamte	orga- nische	gesamte	orga- nische
Frühjahr (1./IV. bis 30./VI.)	763	212	418	222	607	132	139	80
Sommer (1./VII. bis 30./IX.)	768	221	366	208	629	137	121	70
Winter (1./X. bis 31./XII.)	817	249	377	231	613	143	116	75

Diese Erscheinung ist offenbar ebenfalls auf die Veratmung von organischer Substanz durch die Mikroorganismen des Abwassers zurückzuführen. Um die Zusammensetzung des Kanalwassers zu den verschiedenen Stunden des Tages kennen zu lernen, wurden von uns 24 Stunden-Versuche ausgeführt, bei denen wieder jede Stunde am Ein- und Ablauf Proben entnommen wurden, die aber nicht gemischt, sondern jede für sich untersucht wurden. Es ergab sich, daß der Verschmutzungsgrad vormittags gegen 11—12 Uhr ein Maximum erreicht, dann allmählich wieder zurückgeht, nachmittags gegen 4 Uhr abermals ein Maximum erreicht und von da ab allmählich wieder sinkt, wobei das Nachtwasser immer reiner wird, und die Verschmutzung erst gegen 7 Uhr morgens allmählich wieder zunimmt. Das Nachmittags-Maximum erklärt sich aus den nach dem Mittagessen in den Haushaltungen vorgenommenen Spülungen. Diese Spülwelle erscheint erst gegen 4 Uhr an der Kläranlage, weil das Wasser 2—3 Stunden zu seinem Wege von Frankfurt dorthin gebraucht.

7. Einwirkung der geklärten Abwässer auf den Main.

Der Reinheitszustand des Maines ist, weil dem Fluße in seinem Laufe bis Frankfurt aus zahlreichen Städten und Fabriken Abwässer aller Art zugeführt werden, kein besonders günstiger und kann sich mit dem des Rheines beispielsweise nicht vergleichen.

Vor Erbauung der Kläranlage wurden, wie schon oben erwähnt, die Abwässer Frankfurts ganz ungereinigt in den Main abgelassen, so daß damals diese Abwässer eine weitere Verschmutzungsquelle für den Fluß dargestellt haben. Um diesen Übelstand zu beheben, wurde die Kläranlage gebaut.

Ob und inwieweit nun die Anlage ihre Aufgabe der Reinhaltung des Flusses erfüllt, ist deshalb zu verschiedenen Malen durch eingehende Untersuchung des Mainwassers festgestellt worden. Schon kurz nach Beginn des Klärbetriebes hat Lepsius¹⁾ diesbezügliche Untersuchungen ausgeführt. Sie sind später von Popp und Becker und Freund wiederholt worden. Diese Untersuchungen erstrecken sich zum Vergleich auch auf weiter abwärts liegende Mainpartien.

Die Ergebnisse (mg im Liter) finden sich in der Tabelle auf S. 138

Die Lepsius'schen Zahlen zeigen unterhalb des Einflusses der Abwässer eine Zunahme der gelösten mineralischen Stoffe, was auf den Zusatz der Chemikalien zu dem Abwasser zurückzuführen ist. Die gelösten organischen Stoffe haben sogar eine Abnahme erfahren, während die suspendierten Stoffe, der Gesamt- und Ammoniakstickstoff etwas zugenommen haben.

Die Untersuchung Dr. Popp's und Dr. Becker's vom 20. Juli 1891 ergab für die suspendierten organischen Stoffe und die Keimzahl eine geringe Zunahme, während die gelösten Stoffe keine Veränderung erfahren haben. Die Untersuchung vom 25. Oktober 1892 ergab dagegen hinter dem Einfluß des gereinigten Abwassers ebenso wie bei der Untersuchung von Lepsius eine Abnahme der gelösten organischen Stoffe; hier haben auch die suspendierten Stoffe ein wenig abgenommen. Der Ammoniak- und Gesamtstickstoff ist aber in geringem Maße gestiegen. Diese Untersuchung zeigt weiter, daß der Main durch die in ungereinigtem Zustande abgelassenen Abwässer des Industriestädtchens Höchst (etwa 12 000 Einwohner) in erheblicherem Maße verunreinigt wird, als durch die gereinigten Abwässer Frankfurts.

¹⁾ Jahresbericht des physikalischen Vereins Frankfurt 1887/88.

Untersuchungen von Professor Lepsius am 25. V. 1888.

Bezeichnung der Probenentnahmestellen	Gesamte Stoffe				Gelöste Stoffe						Suspendierte Stoffe		Bakterien im com
	Mineral- stoffe	Organische Stoffe	Oxydier- barkeit	Stickstoff	Mineral- stoffe	Organische Stoffe	Stickstoff	Ammoniak	Oxydier- barkeit	Chlor	Mineral- stoffe	Organische Stoffe	
Oberhalb der Kläranlage	188	165	1,74	2,88	150	160	2,40	2,22	—	—	38,5	5,0	—
Unterhalb der Kläranlage	195	142	1,67	3,90	185	135	3,90	2,32	—	—	10,0	7,0	—
Untersuchungen von Dr. Popp und Dr. Becker am 20. VII. 1891.													
Oberhalb der Kläranlage	—	—	—	—	92	190	—	—	4,5	—	89	7 ¹⁾	437 620
Unterhalb der Kläranlage	—	—	—	—	92	190	—	—	4,2	—	66	19 ¹⁾	450 350
Untersuchungen von Dr. Popp und Dr. Becker am 25. X. 1892.													
Oberhalb der Kläranlage (3,6 km) ²⁾	—	—	3,0	1,26	215	179	—	0,98	—	—	13,0	—	16 974
Unterhalb der Kläranlage (800 m) ²⁾	—	—	2,8	1,54	213	157	—	1,54	—	—	11,9	—	11 980
Unterhalb Griesheim (3,3 km) ²⁾	—	—	2,9	1,96	223	153	—	1,68	—	—	8,5	—	7 767
Unterhalb Höchst (9,5 km) ²⁾	—	—	3,3	2,24	232	173	—	1,82	—	—	9,7	—	11 466
Oberhalb des Flörsheimer Nadelwehrs (17,5 km) ²⁾	—	—	3,1	1,82	218	150	—	1,54	—	—	8,9	—	7 000
Oberhalb des Kosteimer Nadelwehrs (25,3 km) ²⁾	—	—	3,3	—	213	149	—	1,26	—	—	7,4	—	4 900
Unterhalb des Kosteimer Nadelwehrs (27,5 km) ²⁾	—	—	3,1	2,24	217	170	—	1,40	—	—	6,8	—	7 906
Rhein oberhalb Mainz	—	—	1,6	0,84	127	63	—	0,70	—	—	17,2	—	3 704
Untersuchungen von Professor Freund am 30. VIII. 1901. Salpetrige Säure													
Oberhalb der Kläranlage (etwa 500 m) ²⁾	272	114	3,8	—	—	—	—	Spuren	0	—	—	38,5	—
Klärbecken-Auslaß	271	126	5,9	—	—	—	—	0,5	Spuren	—	—	40,2	—
Unterhalb Rauschbach (etwa 275 m) ²⁾	300	115	3,8	—	—	—	—	Spuren	0	—	—	38,5	—
Unterhalb der Griesheimer Fähre (etwa 1,15 km) ²⁾	286	98	1,5	—	—	—	—	"	0	—	—	36,7	—
Unterhalb Schwanheim (2,75 km) ²⁾	280	124	3,8	—	—	—	—	"	0	—	—	40,2	—
Oberhalb der Höchster Schleuse (etwa 5 km) ²⁾	276	104	0,75	—	—	—	—	"	0	—	—	36,7	—

¹⁾ Die Oxydierbarkeit der suspendierten organischen Stoffe betrug oberhalb 1,9 und unterhalb 2,9 mg.

²⁾ Die Zahlen geben die Entfernung vom Klärbecken-Auslaß an.

Die Untersuchung Prof. Freund's vom 30. August läßt erkennen, daß direkt am Auslaß der Kanalwässer die organischen Stoffe, die Oxydierbarkeit, der Chlor- und Ammoniakgehalt in, wenn auch merklicher, so doch immerhin sehr geringer Weise vermehrt sind. 250 m unterhalb des Auslasses aber ist der Gehalt des Mainwassers an diesen Bestandteilen schon wieder auf die frühere Höhe herabgesunken. Unterhalb Schwanheim steigen die Zahlen infolge der Einmündung der Abwässer von Schwanheim wieder schwach an, 2—3 km weiter ist aber von der erfolgten Verunreinigung nichts mehr zu bemerken. Von Sanitätsrat Dr. Libbertz sind im Jahre 1897 bakteriologische Untersuchungen des Mainwassers ausgeführt worden. Der Keimgehalt des Ablaufwassers, des Mainwassers oberhalb des Einflusses der Abwässer und 2 und 4 km weiter abwärts betrug bei verschiedener Klärung:

Zeit	Art der Klärung	Ablaufendes Wasser	Mainwasser		
			oberhalb der Kläranlage	unterhalb der Kläranlage	
				bei Griesheim 2 km	bei Höchst 4 km
22. V. 97	} Mit schwefelsaurer Tonerde + Kalk {	270 000	1800	1320	1500
29. V. 97		230 000	1500	1080	1400
2. VI. 97	} Mechanische Klärung {	420 000	2400	2640	2700
17. VI. 97		360 000	2280	2100	2340

Danach erfüllt also die Kläranlage ihren Zweck der Reinhaltung des Flusses vollkommen.

Der Main führt etwa folgende Wassermengen: Bei mittlerem Wasserstand 175 cbm pro Sekunde, bei niedrigstem Wasserstand 74 cbm pro Sekunde und bei Hochwasser etwa 970 cbm pro Sekunde. Die tägliche Abwassermenge beträgt etwa 50 000 cbm oder etwa 0,6 cbm pro Sekunde. Danach ist die eintretende Verdünnung auch bei niedrigstem Wasserstande immer noch 1:128, ein Verhältnis, das die von Pettenkofer geforderte Verdünnung von 1:15 also weit nach oben hin überschreitet. Hiernach ist anzunehmen, daß die durch die Einleitung der geklärten Abwässer hervorgerufene geringe Verschmutzung durch die selbstreinigende Wirkung des Flusses schnell beseitigt wird, was ja auch die Untersuchungen bestätigen.

H. Große-Bohle¹⁾ hat auf der vorigjährigen Versammlung der „Freien Vereinigung“ in Nürnberg auf die hohe Bedeutung, welche dem freien, gelösten Sauerstoff für die Reinhaltung der Gewässer zukommt, hingewiesen. Wir haben auch diesen Punkt in den Bereich unserer Untersuchungen gezogen und obwohl noch kein abschließendes Urteil abgegeben werden kann, so kann ich doch schon mitteilen, daß ich bisher, vor und hinter dem Einfluß des geklärten Abwassers nur geringe Differenzen im Gehalte an freiem Sauerstoff gefunden habe.

B. Beseitigung und Verwertung der abfallenden Rückstände.

Entsprechend der Reinigung des Abwassers durch Sandfang, Rechen und Becken fallen an Rückständen Sandfangrückstände, Rechenrückstände und Klärbeckenschlamm ab.

8. Sandfang- und Rechenrückstände.

Die Sandfang-Rückstände, die im Tage etwa 12—15 cbm betragen, bestehen hauptsächlich aus Sand und mineralischen Stoffen; daneben finden sich auch

¹⁾ Vergl. diese Zeitschrift 1906, 12, 53.

Knochen, Lumpen, Eingeweide, Gemüsereste, Fruchtkerne etc. Die Rechenrückstände betragen etwa 10—18 cbm täglich und bestehen vorwiegend aus Fäkalien und Papier. Ferner finden sich hier Korke, Blätter, Orangenschalen, Streichhölzer, Streichholzschachteln, Federn, Gummitheile u. s. w. Die ungefähre Zusammensetzung dieser beiden Rückstände ist nach unseren bisherigen Versuchen folgende:

Rückstände des	In der natürlichen Substanz						In der Trockensubstanz				
	Wasser %	Mineral- stoffe %	Organische Stoffe %	Stick- stoff %	Phosphor- säure %	Kali %	Mineral- stoffe %	Organische Stoffe %	Stick- stoff %	Phosphor- säure %	Kali %
Sandfanges	67,41	20,50	12,09	0,040	0,33	0,04	62,90	37,10	0,12	1,01	0,12
Rechens	82,13	2,33	15,54	0,147	0,28	0,07	13,04	86,96	0,82	1,57	0,40

Die Beseitigung dieser Rückstände bietet keine Schwierigkeiten. Die Sandfangrückstände trocknen an der Luft ziemlich schnell ein und beanspruchen für ihre Lagerung keinen größeren Raum. Die Rechenrückstände bilden ihrer Zusammensetzung nach ein gutes Düngemittel und werden daher von den Landwirten gern abgenommen.

9. Klärbeckenschlamm.

In den Kammern setzt sich der Klärbeckenschlamm ab, eine breiig-flüssige Masse, die aus sehr feinen Stoffen besteht, welche in der Hauptsache zerriebene Fäkalien darstellen. Eine Probe dieses Schlammes habe ich Ihnen zur Ansicht mitgebracht. Die schwarze Farbe rührt von geringen Mengen Schwefeleisen her, das sich aus dem bei der Fäulnis entstehenden Schwefelwasserstoff und den Eisensalzen des Wassers gebildet hat. Der Klärbeckenschlamm ist seinem Volumen nach der weitaus beträchtlichste Teil der Rückstände; die tägliche Menge beträgt ungefähr 250 cbm. Die Zusammensetzung des Schlammes ist bei verschiedenen Klärverfahren nach Lepsius¹⁾, Popp und Becker sowie nach meinen Untersuchungen folgende:

Untersuchungen von Lepsius.

Klärung mit	In der natürlichen Substanz						In der Trockensubstanz				
	Wasser %	Mineral- stoffe %	Organische Stoffe %	Stickstoff %	Phosphor- säure %	Kali %	Mineral- stoffe %	Organische Stoffe %	Stickstoff %	Phosphor- säure %	Kali %
Tonerdesulfat + Kalk .	93,50	2,76	3,74	0,22	0,05	0,03	—	—	—	—	—
Kalk	90,85	5,00	4,15	0,31	0,07	0,02	—	—	—	—	—
Mechanische Klärung . .	85,04	8,25	6,71	0,25	0,10	0,06	—	—	—	—	—
Eisensulfat + Kalk . .	80,96	5,73	13,31	0,10	0,02	0,007	—	—	—	—	—
Phosphorsäure + Kalk .	82,21	11,29	6,50	0,10	0,30	0,18	—	—	—	—	—

Eigene Untersuchungen.

Mechanische Klärung (umgebaute Anlage)	91,07	3,85	5,08	0,23	0,23	0,05	43,00	57,00 mit 17,05 % Fett	2,85	2,85	0,56
---	-------	------	------	------	------	------	-------	---------------------------------	------	------	------

¹⁾ Jahresbericht des physikalischen Vereins Frankfurt a. M. 1887 und 1888.

Untersuchungen von Popp und Becker vom 20. VII. 1891.

Klärung mit	Gramme im Liter natürlicher Substanz								Phosphorsäure (P ₂ O ₅)
	Wasser	Trocken- substanz	Mineral- stoffe	Organische Stoffe	Stickstoff			Kali (K ₂ O)	
					Gesamt-	organischer	Ammoniak-		
Tonerde + Kalk . .	924,45	102,55	58,90	40,60	1,240	0,770	0,474	0,458	3,235
„ + Dolomit .	895,02	120,98	55,19	65,79	1,561	0,793	0,769	0,763	2,960

Ein Blick auf diese Zahlen zeigt, daß der Klärbeckenschlamm nach verschiedenen Richtungen hin eine sehr wertvolle Substanz ist. Der beträchtliche Gehalt an Stickstoff und Phosphorsäure hat von jeher den Gedanken nahe gelegt, den Schlamm als Düngemittel zu verwerten. Ferner regt der hohe Fettgehalt zu Versuchen über die Gewinnung des Fettes an.

Eine überschlägige Berechnung ergibt, daß nach den oben mitgeteilten Zahlen der jährlich abfallende Schlamm ungefähr für 500 000 Mk. Fett und für 150 000 Mk. Stickstoff enthält.

Man kann demnach die Frage der Beseitigung dieser Rückstände von zwei Standpunkten aus betrachten, nämlich vom hygienischen und vom ökonomischen Standpunkt. Der erste verlangt die möglichst sofortige Vernichtung oder Unschädlichmachung dieser Stoffe, während der zweite es für erstrebenswert erachtet, die beträchtlichen Werte, die in diesen Substanzen vorhanden sind, nicht verloren gehen zu lassen, sondern wieder zu gewinnen. Das Ideal wäre eine Vereinigung beider Standpunkte. Bringt aber die Verarbeitung der Rückstände Gefahren oder Belästigungen mit sich, so müssen diese Abfälle ohne Rücksicht auf die verloren gehenden Werte vernichtet werden.

Das erste Erfordernis für die Beseitigung des Schlammes mit oder ohne Verwertung ist die Entwässerung, da der 90 % und mehr Wasser enthaltende Schlamm nicht nur einen sehr beträchtlichen Raum einnimmt, sondern auch bei diesem Wassergehalt ein sehr schnell in stinkende Fäulnis geratendes, günstiges Nährsubstrat für Pilze und Organismen aller Art darstellt.

Aber gerade die Entwässerung bietet außerordentliche Schwierigkeiten. Infolge der fortgesetzt vor sich gehenden anaeroben Zersetzungen hat nämlich der Schlamm einen hohen Gehalt an kolloidalen Stoffen, die infolge ihrer schleimigen Beschaffenheit ein mechanisches Entwässern mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln vollkommen unmöglich machen.

Im Grunde genommen fällt die ganze Frage der Verwertung des Schlammes mit der Frage der Entwässerung zusammen. Der trockene Schlamm ist geruchlos und seine Verarbeitung bietet auch sonst in hygienischer Hinsicht keinerlei Bedenken.

Verschiedene Arten der Entwässerung des Schlammes.

Das hier wie in den meisten anderen Städten zuerst angewandte Verfahren der Entwässerung, das auch heute noch in Frankfurt, wenn auch für nicht mehr lange Zeit im Gebrauch ist, besteht darin, den Schlamm in dünner Schicht in Lager abzupumpen. Die Entfernung des Wassers geschieht hier einmal dadurch, daß das nach

einiger Zeit sich absetzende Wasser durch einen Schieber in Leitungen abgelassen wird, die in die Klärbecken zurückführen. Ein anderer Teil des Wassers wird vom Boden aufgesaugt und endlich verdunstet ein Teil langsam an der Luft. Die Entwässerung auf diesem Wege dauert aber ziemlich lange und hat verschiedene sonstige Übelstände im Gefolge. Der in die Lager gebrachte feuchte Schlamm beginnt, besonders in der heißen Jahreszeit, leicht zu gären. Um die damit verbundenen Geruchsbelästigungen zu vermeiden, muß der Schlamm mit besonderen Zusätzen versehen werden, die entweder fäulnishemmend wirken oder eine abschließende Decke bilden, so daß die entstehenden Fäulniskase nicht entweichen können. So sind die Schlamm Lager mit Chlorkalk und Ätzkalk behandelt worden, was sich aber nicht bewährt hat. Besser bewährt hat sich dagegen das Bedecken des Schlammes mit Torf, der neben der Deckenbildung noch den Vorteil bietet, daß ein Teil des Wassers von ihm aufgesaugt wird, so daß ein schnelleres Austrocknen erfolgt. Neuerdings werden flüssige Desinfektionsmittel unter den Namen Facilol, Belloform etc. in den Handel gebracht, mit denen der Schlamm besprengt wird. Diese Körper stellen Gemische von Teerprodukten und höheren Grenzkohlenwasserstoffen dar. Die Wirkung soll einmal durch die Phenole, Kresole etc. eine desinfizierende sein, andererseits sollen die leicht erstarrenden Kohlenwasserstoffe eine Decke bilden, die die riechenden Gase nicht durchtreten läßt. Diese Erzeugnisse sind in den letzten Jahren auch in Frankfurt angewandt worden. Abgesehen davon, daß die Verwendung aller dieser Desinfektions- und Bedeckungsmittel erhebliche Ausgaben verursacht, haben sie noch den Nachteil, daß der getrocknete Schlamm als Dünger infolge der Zugabe eines für die Pflanzen zum mindesten indifferenten Materials minderwertiger wird.

Der Schlamm Lagerbetrieb stellt sich außerdem dadurch ziemlich teuer, daß erhebliche Aufwendungen für Grunderwerb gemacht werden müssen.

Von Anfang an hat man sich deshalb bemüht, das Schlamm Lagerverfahren mit seinen Mißständen durch ein anderes Verfahren, das eine schnelle Entwässerung gestattet, zu ersetzen.

Die ersten Versuche mit Filterpressen scheiterten vollständig. Es stellte sich heraus, daß die kolloidalen Stoffe auf den Tüchern die Bildung einer festen Schicht veranlaßten, die trotz angewandten hohen Drucks schon nach kurzer Zeit kein Wasser mehr durchtreten ließ. Beim Öffnen der Filterpresse ergab sich, daß sich an den Tüchern feste, gut entwässerte Kuchen gebildet hatten, dazwischen aber unentwässerter Schlamm stand. Bessere Ergebnisse hat man erhalten, als man dem Schlamm vor der Pressung Kieselsäure zusetzte. Die Versuche mit der Filterpresse sind später mehrfach wieder aufgenommen worden. Sie hatten erst ein günstigeres Ergebnis, als der Schlamm in einer heizbaren Presse entwässert und ihm schwefelsaure Tonerde (4,33 kg auf 1 cbm) zugesetzt wurde. Das erhaltene Produkt war dann bis auf 25 % Wasser entwässert. Durch das Erwärmen und den Chemikalienzusatz stellte sich das Verfahren aber so teuer — die Entwässerung von 1 cbm kostete rund 5,50 Mk. — daß an eine praktische Verwertung nicht gedacht werden konnte.

Mit viel mehr Erfolg ist in neuester Zeit die Entwässerung des Schlammes mit Centrifugen versucht worden.

Der hiesige Stadtbaumeister Schäfer hat einen derartigen Apparat konstruiert, der ein kontinuierliches Auscentrifugieren des Schlammes gestattet. Der zu entwässernde Schlamm fließt oben ein. Durch die Centrifugalkraft werden die festen Stoffe nach

außen geschleudert. Von Zeit zu Zeit wird der auscentrifugierte Schlamm selbsttätig ausgeworfen, während das Abwasser konstant unten abfließt.

Die zahlreichen von uns ausgeführten Versuche haben ergeben, daß der Trockensubstanzgehalt des ausgeschleuderten Schlammes meist 30—35 %, also der Wassergehalt 65—70 % beträgt; bei diesem Wassergehalt ist der Schlamm vollkommen stichfest. Das weitere Trocknen kann dann an der Luft oder in besonderen Trocknapparaten geschehen. Die Centrifuge hat, abgesehen von dem schon erwähnten vollkommen kontinuierlichen Betrieb, noch den Vorteil, daß die ganze Entwässerung vor sich geht, ohne daß die Arbeiter mit dem Schlamm in Berührung kommen.

In diesem Jahre haben wir ferner eine große Reihe von Versuchen ausgeführt, den Schlamm auf elektroosmotischem Wege zu entwässern. Das Verfahren, das dem Graf von Schwerin patentiert ist, beruht darauf, daß, wenn ein elektrischer Strom durch die Masse geleitet wird, eine Osmose in dem Sinne auftritt, daß die Flüssigkeitsteilchen zur Kathode, die festen Teilchen zur Anode wandern. Klärbeckenschlamm ist bisher nicht elektroosmotisch untersucht worden. Wir fanden bei unseren Versuchen bald, daß für diesen neben der Osmose noch ein anderes sehr wichtiges Moment eine Rolle spielt, nämlich das Schrumpfen der Colloide unter dem Einflusse des elektrischen Stromes. Wie ich schon erwähnte, sind es vornehmlich die Colloide, die ein mechanisches Entwässern des Schlammes unmöglich machen. Versucht man ein aus Schlamm durch Sedimentation oder auf irgend einem anderen Wege erhaltenes Abwasser zu filtrieren, so laufen einige Tropfen durch, von da ab aber ist und bleibt das Filter verstopft. Das bei der Elektroosmose von Schlamm erhaltene Abwasser aber filtriert wie jedes andere, nicht mit colloidalen Stoffen beladene Wasser vorzüglich; nach längerem Aufbewahren läuft aber dasselbe vorher gut filtrierbare Abwasser ebenso schlecht durchs Filter, wie das auf gewöhnlichem Wege abgeschiedene. Hieraus folgt, daß durch den elektrischen Strom der kolloidale Zustand für eine gewisse Zeit aufgehoben, nach längerem Aufbewahren aber von selbst wieder hergestellt wird. Die verwendeten Versuchsapparate waren horizontal oder vertikal gestellte Rahmen, die auf der einen Seite durch ein Metallsieb (meist Messing), das als Kathode diente, auf der anderen Seite durch eine andere, als Anode dienende Metallplatte (meist Blei) geschlossen waren. In diesen Rahmen wurde der zu entwässernde Schlamm gegeben. Nach Einschaltung des Stromes erfolgte die Entwässerung sowohl an der Anode als an der Kathode. Die Anodenplatte konnte entsprechend dem Grade der Entwässerung nachgeschoben werden.

Beim Durchleiten des Stromes durch den Schlamm geht natürlich wegen der vorhandenen Elektrolyte neben der Entwässerung eine Elektrolyse einher, weshalb das Kathodenwasser alkalisch reagiert und nach Ammoniak riecht, während das an der Anode abfließende Wasser schwach sauer reagiert. Der Stromverbrauch ist zwar beträchtlich, jedoch nach den bisherigen Versuchen nicht so hoch, daß dieser Punkt die praktische Anwendung ohne weiteres verbietet. Ein näheres Eingehen auf diese Versuche muß ich mir versagen, doch haben die bisherigen Versuche, die wir höchst wahrscheinlich in größerem Maßstabe mit einem größeren Versuchsapparat weiterführen werden, ergeben, daß die elektroosmotische Schlammmentwässerung prinzipiell möglich ist, und es nicht ausgeschlossen erscheint, daß das Verfahren eine praktische Bedeutung erlangt, wenn auch in dieser Richtung ein bestimmtes Urteil noch nicht abgegeben werden kann.

Verwertung des Schlammes.

Der in den Schlamm lagern getrocknete Schlamm, der bei einem Wassergehalt von 60—70 % stichfest wird, wird in diesem Zustande von den Landwirten als Dünger abgenommen. Ein Teil des Schlammes wird aber gar nicht in Lager gebracht, sondern direkt aus den Kammern den in der Umgegend der Kläranlage befindlichen landwirtschaftlichen Betrieben auf die Äcker gerieselt. Zu diesem Zwecke sind lange Leitungen vorhanden, an die bewegliche Rohre angesetzt werden können.

Vor einigen Jahren sind Versuche ausgeführt worden, den in Lagern bis zur Stichfestigkeit entwässerten Schlamm in einem Trockenapparat bis auf etwa 10—20 % Wassergehalt weiter zu trocknen. Das trockene Erzeugnis ist dann als Poudrette verkauft worden. Der Apparat bestand aus einer rotierenden Trommel, in der der Schlamm bei 100—120° getrocknet und gleichzeitig gemahlen wurde. Die stinkenden Abgase wurden unter die Feuerung geleitet und so unschädlich gemacht. Die erhaltene Poudrette enthielt nach Professor Petersen in der Trockensubstanz 1,76 % Stickstoff und 2,04 % Phosphorsäure.

Ein Teil des im feuchten Schlamm vorhandenen Stickstoffes geht bei der Trocknung als Ammoniak verloren. Das Verfahren erwies sich jedoch als unrationell. Die Produktionskosten betrugen 4,50 Mk. pro 100 kg Poudrette, bezahlt wurden aber für 100 kg nur 2,50 Mk., so daß die Stadt an 100 kg etwa 2 Mk. zusetzen mußte.

Der durch Lagern, Centrifugieren etc. bis auf 60—70 % Wasser entwässerte Schlamm kann auch in Briketts geformt und an der Luft weiter getrocknet werden. In 2—8 Wochen trocknen die Briketts zu einer 10—20 % Wasser enthaltenden Masse aus.

Die Verwertung des getrockneten Schlammes als Dünger ist also nach den in Frankfurt gemachten Erfahrungen, wegen der beträchtlichen Kosten, die die Entwässerung verursacht, ein aussichtsloses Unternehmen.

Die Stadt Frankfurt steht auch heute noch auf dem Standpunkt, den Schlamm unter allen Umständen einwandfrei zu beseitigen, selbst wenn dabei eine Verwertbarkeit nicht möglich sein sollte. Die städtischen Behörden haben die Mittel für den Bau einer Müllverbrennungsanstalt bewilligt und in dieser Anstalt, die auf dem Gelände der Kläranlage erbaut werden soll, soll auch der getrocknete Schlamm durch Verbrennen vernichtet werden. Der Schlamm brennt schon ohne Zusatz von Kohle, wenn er auf 75 % Wassergehalt entwässert und mit Hauskehricht gemischt ist.

Die geplante Vernichtung des Schlammes durch Feuer schließt natürlich nicht aus, daß wir uns bemühen werden, nach Möglichkeit mit der Unschädlichmachung des Schlammes eine Verwertung der wertvollen Bestandteile zu vereinigen.

In erster Linie ist es das im Schlamm in so großen Mengen vorhandene Fett, das zu immer neuen Versuchen bezüglich der Abscheidung und Gewinnung anregt. Das aus Frankfurter Schlamm durch Extraktion dargestellte Fett hat ungefähr folgende Zusammensetzung: 68—73 % freie Fettsäuren, 18—20 % Neutralfett und 7—14 % unverseifbare Anteile.

Der Hauptbestandteil sind also die freien Fettsäuren, die aus den zum Waschen verwandten Seifen stammen. Die Alkaliseifen setzen sich mit den Kalksalzen des Abwassers zu unlöslichen Kalkseifen um, die sich dann mit den übrigen suspendierten Stoffen in den Klärbecken absetzen.

Eine Abscheidung des Fettes wäre nun denkbar 1. auf mechanischem Wege, 2. durch Extraktion mittels Lösungsmitteln. Eine mechanische Trennung des Fettes

von den übrigen Schlammbestandteilen durch Aufsteigen der spez. leichteren Fettbestandteile in einem der Ruhe überlassenen Schlamm erfolgt nicht, da das Fett zu fest mit den übrigen Bestandteilen des Schlammes verbunden ist. Kremer hat einen auf dem Prinzip der kommunizierenden Röhren beruhenden Apparat konstruiert, der eine Trennung in fettreichen und fettarmen Schlamm gestattet. H. Grosse-Bohle hat sich eine andere mechanische Abscheidungsart patentieren lassen: Leitet man nämlich in einen Schlamm Wasserdampf ein, so scheidet sich oben ein Schaum ab, der etwa 40 % Fett enthält. Dieser Schaum kann abgezogen und auf Fett verarbeitet werden.

Eine praktische Anwendung für die Entfettung von Klärbeckenschlamm haben jedoch beide Verfahren meines Wissens bisher nicht gefunden.

Eine Entfettung des trockenen Schlammes durch Lösungsmittel ist natürlich möglich, jedoch nach allen bisherigen Versuchen nicht rentabel, was hauptsächlich durch die zu hohen Kosten der Trocknung des Schlammes verursacht wird. Wie Ihnen bekannt sein wird, ist in Kassel 2—3 Jahre lang eine Fettgewinnungsanstalt durch Extraktion des trockenen Schlammes mit Benzin an der dortigen Kläranlage betrieben worden. Die ausführende Firma hat aber viel Geld bei der Fabrikation zusetzt und den Betrieb wieder eingestellt.

In Frankfurt ist in einer kleinen Versuchsanlage die Extraktion des nassen Schlammes mit Benzin versucht worden. Die erhaltenen Ergebnisse waren jedoch derartig, daß von einer praktischen Anwendung des Verfahrens abgesehen werden mußte.

Für die in Frankfurt vorliegenden Verhältnisse läßt sich jedoch meines Erachtens die Fettgewinnung rationell gestalten. Ich erwähnte schon, daß die Hauptschwierigkeit die hohen Kosten der Trocknung sind. Da nun aber in Frankfurt der Schlamm aus hygienischen Rücksichten durch Verbrennung beseitigt werden soll, demnach für diesen Zweck eine Trocknung auf alle Fälle zu erfolgen hat, so ist es hier berechtigt, für eine etwaige Fettgewinnung bei der Rentabilitätsberechnung die Entwässerungskosten auszuschalten. Geht man aber bei dieser Berechnung von dem trockenen Schlamm aus, so wird sich die Fettgewinnung sicher lohnen. Nach Lösung der Entwässerungsfrage werden wir die Fettgewinnungsversuche wieder aufnehmen.

Es fragt sich aber noch, ob es unter den hier vorliegenden Umständen überhaupt zweckmäßig ist, das Fett als solches zu gewinnen. Vielleicht ist es ebenso rationell oder rationeller, den unentfetteten Schlamm zu vergasen, wobei ein gutes Kraftgas gewonnen wird, das dann in elektrische oder andere Energie umgesetzt werden könnte. Die Elementarzusammensetzung des getrockneten Schlammes ist folgende:

Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff + Stickstoff	Schwefel	Mineralstoffe
31,46	1,52	8,95	0,83	57,24 %

Von Dr. Bujard-Stuttgart sind in den Jahren 1902 und 1903 Vergasungsversuche von Schlamm ausgeführt worden, von deren Ergebnissen ich die folgenden Zahlen mitteilen will:

	I	II
Gasausbeute aus 100 kg Schlamm	18,1 cbm	21,0 cbm
Rückstand	46 %	53 %
Dauer der Vergasung pro 50 kg Charge	4 Std.	4 Std.

Zusammensetzung des Gases:

Kohlensäure	15,0 Vol.-%	17,2 Vol.-%
Schwere Kohlenwasserstoffe . .	6,8 "	4,8 "
Sauerstoff	0	0
Kohlenoxyd	21,8 "	23,8 "
Methan	16,6 "	9,8 "
Wasserstoff	30,8 "	40,7 "
Stickstoff (Rest)	9,0 "	3,7 "
<hr/>		
Spezifisches Gewicht bei 15° . .	0,710	0,7111
Nutzbarer Heizwert pro cbm . .	4038—4072 W.-E.	3620—3630 W.-E.
Leuchtkraft	4,2—5,3 H.-K.	1,5—1,7 H.-K.

Bei dieser Art der Vergasung würde allerdings der vorhandene Stickstoff als wertloser freier Stickstoff verloren gehen. Die Auffindung neuer Stickstoffquellen ist ja in unserer gegenwärtigen Zeit eine besonders akute Frage, weil die Vorräte, aus denen die Landwirtschaft bisher ihren Stickstoffverbrauch gedeckt hat, nahezu erschöpft sind. Die Industrie bemüht sich bisher ohne besonders guten Erfolg, den unerschöpflichen Stickstoffvorrat der Luft durch dessen Überführung mit Hilfe des elektrischen Stromes in verwertbare Form der Landwirtschaft nutzbar zu machen. Deshalb ist es von besonderem Interesse, die im Klärbeckenschlamm vorhandenen Stickstoffmengen in nutzbarer Form zu gewinnen.

Nach Laboratoriumsversuchen fand ich, daß der Stickstoff fast quantitativ als Ammoniak gewonnen werden kann, wenn man die Vergasung des Schlammes unter Einleiten von gespanntem Wasserdampf vornimmt. Diese Wasserdampf-Vergasung dürfte keine Komplikation des Verfahrens bedeuten und auch keine Verschlechterung des zu gewinnenden Gases mit sich bringen. Diese Frage werden wir weiter verfolgen.

M. H.! Ich bin am Ende meiner Ausführungen. Ich habe Ihnen die Kläranlage in ihrer geschichtlichen Entwicklung kurz skizziert und einen kurzen Überblick über die zahlreichen hier ausgeführten Versuche und Untersuchungen gegeben. Ich hoffe, Sie haben daraus ersehen, welche Fülle wissenschaftlich wie praktisch interessanter Fragen sich bei der Abwässerbeseitigung darbieten und ein wie reiches Arbeitsfeld sich damit hier für den Chemiker ergibt.

Sonntag, den 12. Mai, besuchte die Mehrzahl der Teilnehmer vormittags die Saalburg, woselbst Herr Geheimrat Jacobi in lebenswürdigster und dankenswertester Weise die Führung und Erläuterung übernommen hatte, und nachmittags unter freundlicher Führung des Herrn Hofapotheker Dr. Rüdiger den Kurpark in Homburg v. d. H.

C. Mai.

Nachstehende noch für die Tagesordnung vorgesehenen Vorträge konnten wegen Zeitmangels nicht mehr gehalten werden.