

## Auslegung und Einrichtung städtischer Kläranlagen

Dr. Ing. A. Rumpf †, Michelbacher Hütte, Nassau

(Bearbeitet von Dipl. Ing. L. Fechter)

Die Auslegung einer Kläranlage ist einerseits durch die Abwassermenge, die Abwasserart und die Schmutzmenge, die der Kläranlage zugeführt wird, andererseits durch die Anforderungen, die von Seiten des Vorfluters an die Kläranlage gestellt werden, gegeben. Die Abwassermenge schwankt sehr stark, nicht nur in der absoluten Menge, sondern auch auf den Einwohner bezogen. In kleineren Gemeinden beträgt die anfallende Abwassermenge etwa 100 l/E Tag, in modernen, hochzivilisierten, reichen Städten wie in Zürich und New York steigt sie bis auf 500 l/E Tag an. Im umgekehrten Verhältnis ändert sich etwa die Verschmutzung. Je höher der Wasserverbrauch und damit der Abwasseranfall ansteigt, um so dünner ist das Abwasser, um so geringer seine Verschmutzung, die ja bekanntlich mit dem biochemischen Sauerstoffbedarf in mg/l oder g/m<sup>3</sup> gemessen wird. Es ist also immer zweckmäßig, das Produkt aus den beiden Faktoren, aus Abwassermenge und aus spezifischer Verschmutzung in mg/l zu ermitteln und nachzuprüfen, denn das Produkt ist ein Maß für die Verschmutzung je Einwohner und Tag, gemessen in g BSB/E Tag, und diese Zahl ist vergleichsweise konstant. Imhoff gibt 54 g/E Tag an, in der Schweiz und in Amerika rechnet man 75 g/E Tag und in Deutschland haben neuere Untersuchungen von Dr. Lüsslem gezeigt, daß sehr oft der Wert auch auf 75 g/E Tag steigt.

Neben der Trockenwettermenge ist noch die Regenwettermenge entsprechend den örtlichen Verhältnissen zu berücksichtigen. Die andere Seite, die Anforderungen an die Kläranlage stellt, ist der Vorfluter, dessen Belastbarkeit durch seine Selbstreinigungskraft gegeben ist. Bei kleinen Bächen, stark verschmutzten Flüssen, wie sie immer häufiger anzutreffen sind, muß eine vollbiologische Reinigung gefordert werden, die auf einen BSB von 20 mg/l und weniger führt. Bei einer mittleren Selbstreinigungskraft des Vorfluters genügt sehr oft eine teilbiologische Reinigung, d. h. eine Reinigung auf einen BSB von 50 mg/l für städtisches Abwasser, und bei sehr großen und leistungsfähigen Vorflutern genügt die mechanische Reinigung, die ja nur die absetzbaren Stoffe physikalisch trennt und infolgedessen den BSB nur um 25 bis 30 Prozent abbaut. Die oft genannte Zahl von 30 bis 33 Prozent BSB-Abbau in der mechanischen Kläranlage wird sehr häufig nicht erreicht. Es gibt sehr viele Anlagen, die nur 20, 25 oder höchstens 30 Prozent des BSB abbauen.

## Mechanische Reinigung

Als erste Stufe der mechanischen Reinigung ist im allgemeinen eine Grobreinigung durch einen Rechen vorgesehen, der die vom Abwasser mitgeführten Stoffe zurückhält.

Es sei hier nur auf eine neuere Entwicklung der mechanischen Abwasserreinigung, einer *Rechen- und Zerkleinerungsanlage* hingewiesen. In den letzten Jahren hat es sich als zweckmäßig gezeigt, das unangenehme Rechengut nicht aus dem Abwasser herauszunehmen, sondern unter Wasser zu zerkleinern und im Abwasser zu belassen.

Da die Art der anfallenden Stoffe äußerst verschieden ist (organische Abfälle, Papier, Textilien, Holz-, Metallteile, Steine usw.), ihre Zusammensetzung daher jeden Grad des Zerkleinerungswiderstandes umfaßt, ist ihre Behandlung sehr schwierig. Die beiden getrennten Aufgaben einer derartigen Einrichtung, die Grobreinigung des Abwassers und die Zerkleinerung des zurückgehaltenen Gutes, wird in der in Bild 1 gezeigten Anlage auch in zwei getrennten Geräten durchgeführt, weil dann jedes einzelne Gerät entsprechend den gestellten Forderungen am zweckmäßigsten und am wirtschaftlichsten ausgebildet werden kann. Die im Abwasser-

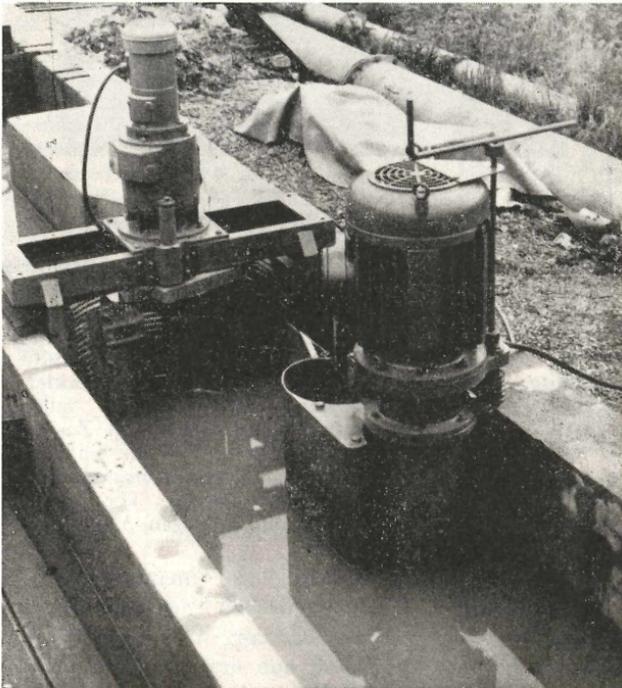


Abb. 1. Messerloser Rotorzerkleinerer und Radialrechen

strom mitgeführten Feststoffe werden an dem im Hintergrund sichtbaren Radialrechen, dessen Roststäbe halbkreisförmig gebogen sind, zurückgehalten und durch einen an einer senkrechten Getriebewelle befestigten und umlaufenden Kamm vom Rost abgestreift und dem Zerkleinerer zugeführt.



*Abb. 2. Hammer  
des messerlosen Rotorzerkleinerers*

Der Zerkleinerer, der im wesentlichen aus einem Schlitzkorb besteht, in dem ein beweglich gelagerter Hammer umläuft, saugt das Rechengut von unten her über einen syphonartig ausgebildeten Kanal an, zerkleinert es auf Abmessungen, die unterhalb der Schlitzweite des Korbes liegen und fördert dieses Gut wieder in den Zulaufkanal vor dem Rechen. Feststoffe, die größer als die Abmessungen der Rechenspaltweite sind, werden erneut erfaßt und der Zerkleinerung wieder zugeführt. Blechbüchsen werden zusammengeschlagen und fallen ebenso wie Schwerstoffe (Steine usw.) in den Sammelraum unter dem Zerkleinerer, wo sie leicht entfernt werden können. Der Zerkleinerer kann in einfacher Weise über Wasser herausgeschwenkt werden, so daß die Zerkleinerungswerkzeuge gut zugänglich sind und leicht ausgewechselt werden können. Die Kanten des Schlitzkorbes und des Hammers sind sehr unempfindlich gegen Abnutzung und schleifen sich selbsttätig nach.

Um die Absetzbecken und Faulräume vor unangenehmen Sandablagerungen zu schützen, müssen die mineralischen von den organischen Stoffen im Sandfang getrennt werden. Der Sandfang hat ebenfalls zwei Aufgaben zu erfüllen: er soll erstens den Sand aus dem Abwasser ausscheiden und zweitens den Sand von den anhaftenden organischen Bestandteilen trennen, also auswaschen. Bei dem im Bild 3 gezeigten Sandfang System „Stengel“ werden diese beiden Aufgaben getrennt durchgeführt, während sie in den

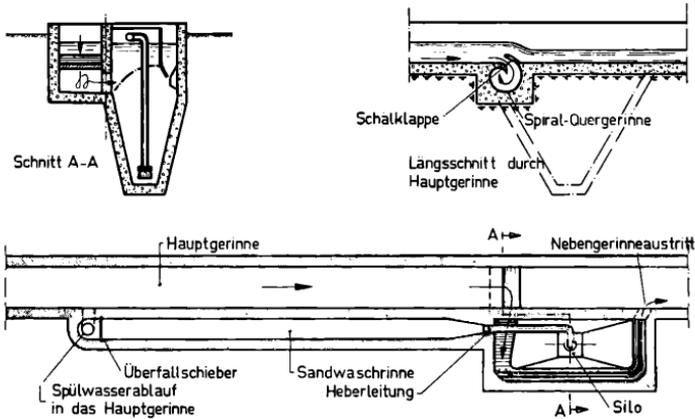


Abb. 3. Sandfang „System Stengel“ (Schema)

seither bekannten Sandfängen meistens gleichzeitig erledigt wurden. Die Trennung hat den Vorteil, daß jeder Vorgang unabhängig vom anderen gesteuert und geregelt werden kann.

Das Prinzip dieses Sandfanges beruht darauf, daß die untere sandführende Schicht im beruhigten Abwasserstrom durch eine Klappe im Boden des Hauptgerinnes abgeschält und so durch ein Nebengerinne geleitet wird, daß sich auch bei den wechselnden Zulaufmengen zur Kläranlage die bekannte für die Sandabscheidung günstigste Geschwindigkeit von 0,3 m/sec einstellt.

Der sich abscheidende Sand fällt durch einen Längsschlitz im Boden des Nebengerinnes in den Sandsilo und wird durch einen Druckluftheber in die Waschrinne gefördert, wo noch anhaftende Schmutzstoffe abgespült werden, während der reine entwässerte Sand sich in der über Geländeoberfläche liegenden Rinne ablagert und leicht entnommen werden kann.

Auf Bild 4 sind die Ergebnisse der Untersuchungen dieses Sandfanges auf-

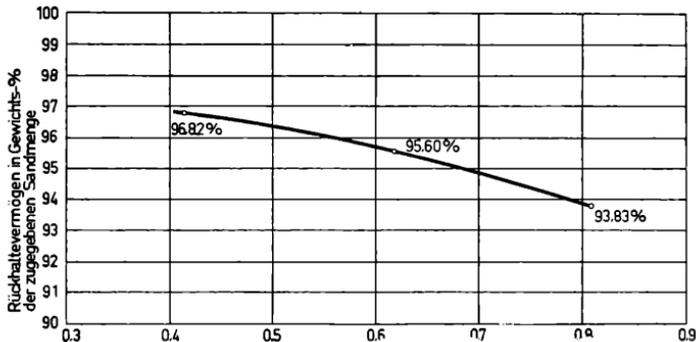


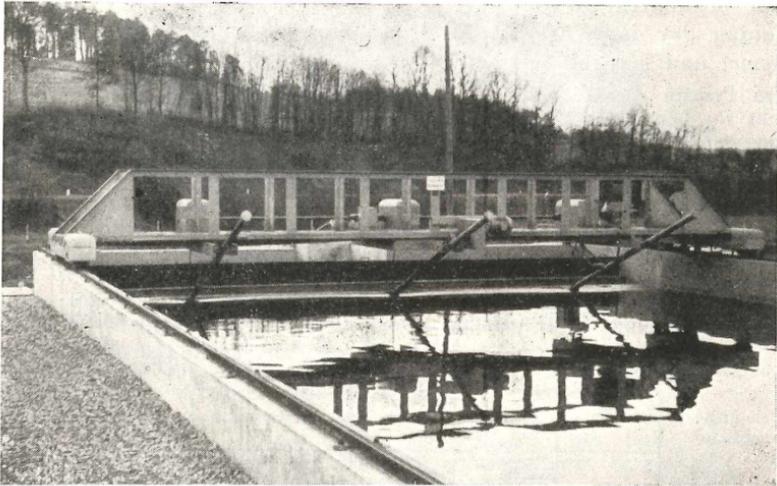
Abb. 4. Sandfang „System Stengel“, Sandrückhaltevermögen

getragen, die Prof. Böss von der TH Karlsruhe durchgeführt hat. Bei den verschiedenen Geschwindigkeiten im Zulaufkanal, die von 0,4 auf 0,8 m/sec gesteigert wurden, betrug das Rückhaltevermögen des Sandes mit einer Körnung von 0–7 mm rund 94 bis 97 Prozent der zugegebenen Menge.

Für die *Vorklärung* werden allgemein längsdurchflossene Rechteck- und radiallydurchflossene Rundbecken verwendet.

Das *Rechteckbecken* hat den Vorzug, daß die Strömung und damit die Absetzwirkung besser zu beherrschen ist. Der Schlammammelraum am Beckenende ist für seine Entleerung gut zugänglich, ein Vorteil, der bei rein städtischen Kläranlagen weniger eine Rolle spielt, aber bei manchen gewerblichen Anlagen, z. B. Kläranlagen für schwere Walzsinterschlämme, von Bedeutung ist.

Bild 5 zeigt ein Rechteckbecken von 10 m Breite mit einem Längsräumen, der mit einem Rahmenträger ausgerüstet ist. Die Räume können vollautomatisch gesteuert werden und führen dann sämtliche Arbeitsvorgänge selbsttätig ohne Bedienung durch.



*Abb. 5. Längsräume mit Rahmenträger Waldbröhl*

*Rundbecken* werden in Deutschland vor allem für große Kläranlagen verwendet, weil sie im Bau einfach und billig sind, und weil ein sehr langes Überfallwehr zur Verfügung steht. Als Vorklärbecken sollten Rundbecken mindestens mit einem Durchmesser von 20 bis 25 m ausgeführt werden, damit der Absetzweg zwischen Ein- und Auslauf nicht zu kurz ist.

Der konstruktive Aufbau eines Rundräumers ist einfach und die Räum- sichte können den vorliegenden Forderungen weitestgehend angepaßt werden.

Auf Bild 6 ist das Rundbecken der Kläranlage Duisburg-Huckingen dargestellt, mit einem Rundräumer als formschöner Vollwandträger ausgebildet.

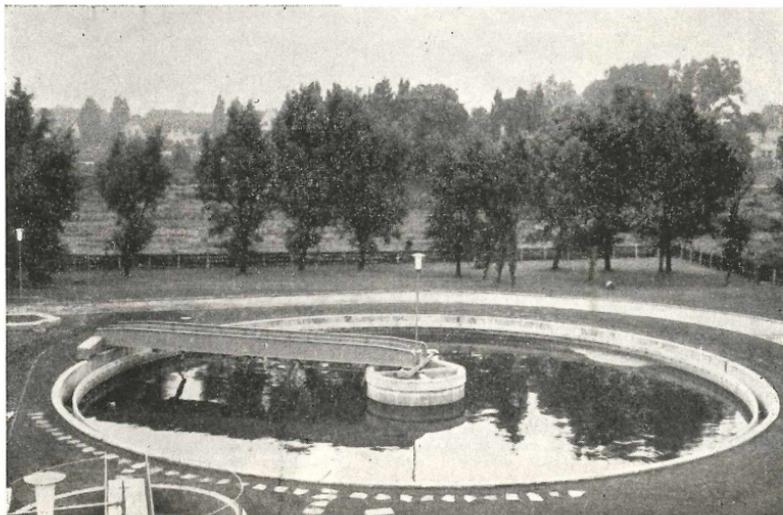


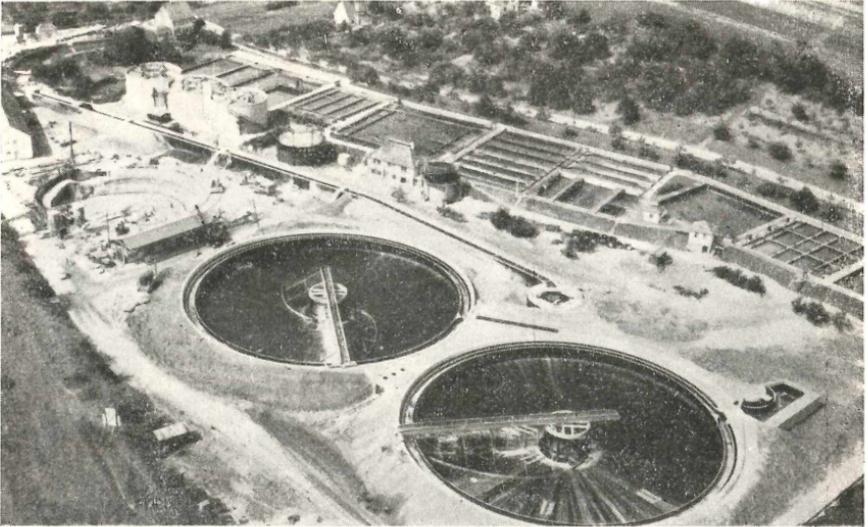
Abb. 6. Mechanische Kläranlage Zuisburg-Huckingen

Bild 7 zeigt die Erweiterung der Kläranlage Stuttgart-Mühlhausen mit zwei Rundbecken von 60 m Durchmesser, deren Räumerrücken über das Mittelbauwerk hinausragen und ein weiteres Räumerschilde tragen, das die Mittenzone doppelt räumt. Bei großen Becken sind derartige Maßnahmen notwendig, da die Schlammengen vor allem in der Mittenzone und die Räumzeiten wegen des großen Beckenumfanges größer werden.

Allgemein kann von den mechanischen Kläranlagen gesagt werden, daß sie die billigste Reinigungsart darstellen, die es gibt. Bekanntlich wurde in Amerika und auch in Deutschland überlegt, Belebtschlammanlagen ohne mechanische Vorklärung auszustatten. Bei einer in Milwaukee besichtigten Anlage wurde festgestellt, daß dann auch etwa der doppelte Luftverbrauch für die Abwassermenge erforderlich ist. Die Verdichtung der Luft ist schließlich wesentlich teurer als die Betriebskosten eines Räumers, die selbst für größere Anlagen nur bei etwa 1 PS liegen, also praktisch bedeutungslos sind. Weiterhin sind die Anlagekosten eines Belebtschlammbeckens wohl kaum niedriger als die eines Vorklärbeckens.

Ein richtig ausgelegtes Vorklärbecken mit einer wirkungsvollen Einlauf-einrichtung ist die Voraussetzung für eine gute Klärwirkung und es sollte auf eine ausreichende Aufenthaltszeit und auf eine gute mechanische Klärung größter Wert gelegt werden.

In England werden die Vorklärbecken für sehr große Aufenthaltszeiten bemessen, die für Trockenwetter 5—7,5 und für Regenwetter 2—2,5 Stunden be-



*Abb. 7. Kläranlage Stuttgart-Mühlhausen*

tragen. In der Kläranlage Mogden, deren Becken für 6 Stunden bei Trockenwetter ausgelegt sind, wird daher auch in den Vorklärbecken ein BSB-Abbau von 44 Prozent erreicht, als Mittelwert über 11 Jahre gemessen.

Die auf Bild 8 dargestellte kleine vollbiologische Kläranlage Frankfurt ist deshalb erwähnenswert, weil hier das Vorklärbecken vom Faulraum getrennt wurde, obwohl das Abwasser von nur etwa 5000 Einwohnern behandelt wird. Di-



*Abb. 8. Kläranlage Goldstein, Frankfurt*

Anlage besteht im wesentlichen aus der Pumpanlage, die das Abwasser in das hochliegende rechteckige Vorklärbecken fördert. Dem nachgeschalteten Hochlast-tropfkörper und dem runden Nachklärbecken fließt das vorgeklärte Abwasser mit natürlichem Gefälle zu, um in den Vorfluter eingeleitet zu werden. Durch eine große Zahl von Messungen zu verschiedenen Zeiten wurde festgestellt, daß der Gesamtabbau dieser Kläranlage etwa 91 Prozent, und im Vorklärbecken allein 52 Prozent beträgt.

Dieses für eine hochbelastete Tropfkörperanlage zweifellos gute Ergebnis wäre mit einem Emscherbrunnen nicht erreichbar und dürfte auf eine Art Vorbelüftung beim Absturz des Abwassers in den Pumpensumpf zurückzuführen sein, wobei, begünstigt durch den Rücklauf des Nachklärschlammes in das Vorklärbecken, eine oxydative Flockung eintritt. Da bei Emscherbrunnen der Faulraum mit dem Absetzbecken verbunden ist, überträgt sich der anaerobe Zustand des Faulraumes auch auf das vorgeklärte Wasser und eine Flockung kann auch durch eine intensive Vorbelüftung nicht erreicht werden.

Der ausgefaulte Schlamm aus dieser Anlage wird übrigens von Prof. Bernauer (Aschaffenburger Zellstoffwerke) für die Gewinnung von Vitamin B<sub>12</sub> verwertet, wobei 10 t Schlamm die gleiche Menge Einheiten wie 8 t Frischleber liefern.

Die wirtschaftliche Grenze für die Ausführung getrennter Absetzbecken und Faulräume an Stelle der Emscherbrunnen liegt bei etwa 10 000 Einwohnern. Die Bestrebungen, vor allem auch in der Schweiz, wo sehr viele kleine Anlagen gebaut werden, gehen heute dahin, die Trennung schon bei Einwohnerzahlen unter 10 000 vorzunehmen.

### Biologische Reinigung

Es ist das Verdienst der Stadt New York, der Herren Gould, Torpey und Chasik, daß sie das *Belebtschlammverfahren* auch als Teilreinigung, und zwar als betriebssichere Teilreinigung, möglich gemacht haben. Die Belebtschlammanlagen nach Chasik, wie sie hauptsächlich in England vertreten sind, waren ja nur als Vollreinigungsanlagen mit Nitrifikation betriebsfähig. In New York wurde das sogenannte schlammarme Belebtschlammverfahren oder „modified aeration“ eingeführt, bei dem mit sehr geringer Schlammkonzentration im Belebtschlammbecken und auch mit einer entsprechend geringen Rücklaufschlammmenge von nur 7 bis 10 Prozent, bezogen auf das zugeführte Abwasser, gearbeitet wird, während man normal etwa 25 Prozent zurückführt. Das sind etwa 90 Prozent des abgetrennten Schlammes, während 10 Prozent als Überschussschlamm abgeführt werden. Diese Überschussschlammmenge muß dann im Dauerbetrieb der Schmutz- oder Schlammmenge entsprechen, die mit dem Abwasser ankommt.

Bild 9 und 10 zeigen eine der New Yorker Kläranlagen, die Belebtschlamm-anlage Owls Head, die nach dem schlammarmen Verfahren arbeitet und etwa 500 000 m<sup>3</sup> Abwasser täglich von einer Million Einwohner mit einem BSB von 160 mg/l auf 59 mg/l, also um 63 Prozent reinigt. Der anfallende Belebtschlamm wird mit dem geringen Wassergehalt von nur 95 Prozent gewonnen.

Die Anlage Owls Head ist insofern bemerkenswert, als sie vollständig überhaupt ist, da sie in einer Villenkolonie liegt. Die etwa 100 m langen Belebtschlammbecken werden durch Filter belüftet, die an ausschwenkbaren Rohren



*Abb. 9. Kläranlage Owls Head, New York  
Belebtschlammanlage*

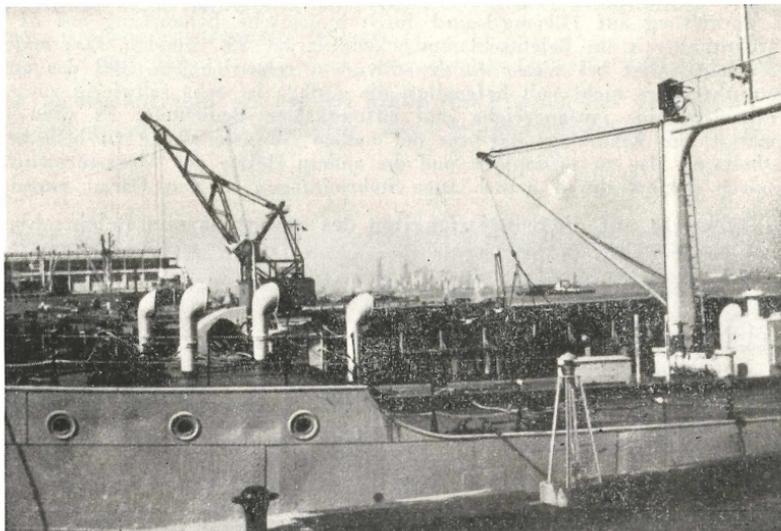


*Abb. 10. Kläranlage Owls Head, New York  
Gesamtanlage*

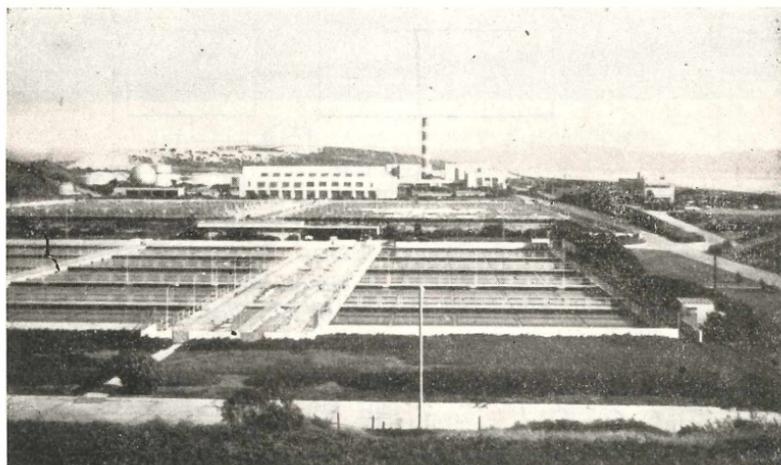
befestigt sind. Das aus den Faulräumen gewonnene Klärgas wird, wie erstaunlicherweise bei einer Reihe großer Anlagen in USA festzustellen ist, auch hier zum Betrieb von Gasmotoren verwendet. Den ausgefaulten Schlamm setzen große

Tanker, die auf Bild 11 zu sehen sind, etwa 50 km Ufer entfernt im Meere ab.

Das schlammarme Belebtschlammverfahren hat sich in New York mit seinem dünnen, vorwiegend häuslichen Abwasser sehr gut bewährt und wurde daher auch



*Abb. 11. Anlage Hyperion, Los Angeles*



*Abb. 12. Anlage Hyperion, Los Angeles*

in einer Reihe anderer Anlagen u. a. in Philadelphia und Los Angeles nach dem New Yorker Vorbild angewendet.

Die Anlage Hyperion bei Los Angeles auf Bild 12, die unmittelbar am pazifischen Ozean liegt, ist sehr großzügig angelegt. Sie behandelt täglich 923 000 m<sup>3</sup> Abwasser von 2,5 Millionen Einwohnern und vermindert den BSB von 237 mg/l durch Vorklärung auf 173 mg/l und durch biologische Behandlung auf 51 mg/l. Die Aufenthaltszeit im Belebtschlammbecken beträgt 2,8 Stunden. Das angewendete Verfahren hat bei dieser Anlage mit dem relativ hohen BSB des ankommenden Abwassers nicht voll befriedigt, die Anlage ist sehr schwierig zu warten und erfordert eine umfangreiche und aufmerksame Bedienung. Es wird daher beabsichtigt, die Kläranlage nur mit der halben Abwassermenge zu belasten, die Aufenthaltszeit also zu verdoppeln und die andere Hälfte der Abwassermenge nur mechanisch geklärt durch 8 km lange Rohrleitungen in den Ozean einzuleiten.

Mit Rücksicht auf die Schwierigkeiten des schlammarmen Belebtschlammverfahrens wurde von Chasik in den Vereinigten Staaten ein neues Verfahren entwickelt, die sogenannte *aktivierte Belüftung*, die allerdings bereits früher von Dr. Leiner in Deutschland vorgeschlagen wurde und auf Bild 13 als Schema dargestellt ist. Sie besteht aus zwei parallel geschalteten Gruppen einer normalen vollständigen Belebtschlammanlage mit Vollreinigung (Gruppe 1) und einer aktivierten Belüftung (Gruppe 2).

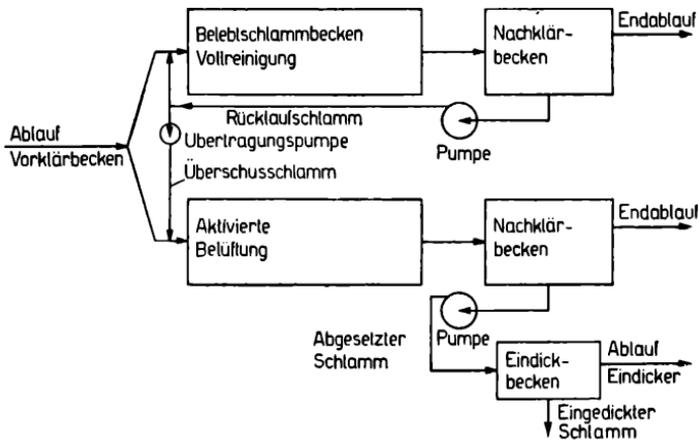


Abb. 13. Schaltplan einer Belebtschlammanlage

Der gesamte Rücklaufschlamm aus den Nachklärbecken der Gruppe 1 wird zurückgepumpt und entsprechend verteilt dem Belebtschlamm- und auch dem Belüftungsbecken zugeführt. Der im Nachklärbecken der Gruppe 2 abgesetzte Schlamm geht über Eindicker in den Faulraum. Die Methode der aktivierten Belüftung hat den Vorteil, daß der Belebtschlamm vollständig ausgenutzt wird, daß der Luftverbrauch bei der aktivierten Belüf-

tung nur etwa 40 Prozent von einer normalen Anlage beträgt, und daß die Gesamtanlage weitestgehend unempfindlich gegen Belastungsstöße ist.

Der gesamte BSB-Abbau dieses Verfahrens beträgt etwa 86 Prozent als Mischwert eines Abbaues von 95 Prozent in der Vollreinigungs- und von 70 Prozent in der aktivierten Anlage.

Auch in Deutschland wurden in den letzten Jahren Teilreinigungsverfahren entwickelt und im großen Maße die *grobblasige Belüftung* in der Belebtschlammanlage Buchenhofen des Wupperverbandes (Bild 14) angewendet.



Abb. 14. Belebtschlammanlage Buchenhofen

Die Zuführung der Druckluft erfolgt nicht durch Filterelemente mit kleinen Porenöffnungen, die sich im Laufe des Betriebes leicht verstopfen, sondern durch Rohre mit großen Austrittsquerschnitten, wodurch eine wirksame Umwälzung und intensive Sauerstoffaufnahme erfolgt. Bei diesem Verfahren wird wohl eine größere Luftmenge benötigt, doch der Kraftbedarf je kg abgebauten BSB ist etwa der gleiche wie bei feinblasiger Belüftung, da der Druckverlust wesentlich niedriger liegt.

Die großblasige Belüftung hat sich in der Kläranlage Buchenhofen, die für 300 000 Einwohner und etwa noch 200 000 Einwohner-Gleichwerte ausgelegt ist, gut bewährt und erreicht einen BSB-Abbau von etwa 70 Prozent. Sie ist im Betrieb unempfindlich und hat bei den verschiedenen Belastungen im Versuchsbetrieb keinen Blähschlamm gezeigt.

Die großblasige Belüftung wird in Deutschland sehr oft zur Vorbelüftung des Abwassers vor dem Vorklärbecken angewandt, um das durch lange Kanäle geflossene Abwasser aufzufrischen, um im Abwasser gelöste Salze auszuflocken und schädliche Stoffe zu oxydieren. Eine Vorbelüftung kann jedoch nicht die biologische Reinigung ersetzen.

Als Beispiel für Vollreinigungsanlagen seien wiederum zunächst einige bekannte Belebtschlammanlagen in den Vereinigten Staaten angeführt. Bild 15 zeigt die Anlage der Brauereistadt Milwaukee mit einem verhältnismäßig hohen BSB von 270 mg/l, der im Jahresdurchschnitt auf 15 mg/l, also um 94 Prozent abgebaut

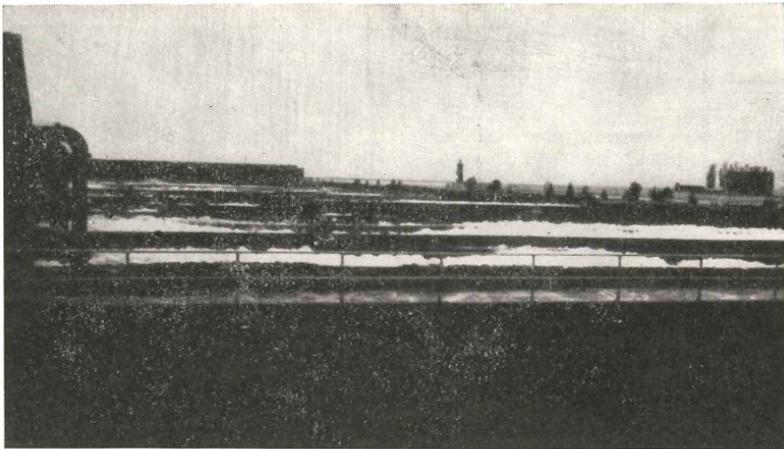


Abb. 15. Belebtschlammanlage Milwaukee

wird. Das ist für eine große Anlage für etwa eine Million Einwohner und eine Million Einwohner-Gleichwerte ein sehr beachtliches Ergebnis. Auffallend ist die starke Schaumbildung auf den Belebtschlammbecken, verursacht durch die künstlichen Seifen, die Detergentien, die die Schlammstoffe in der Anlage herabsetzen und den Luftbedarf wesentlich erhöhen. Die Detergentien können zunächst noch nicht abgebaut werden, sie gelangen in den Vorfluter und werden unter Umständen als Trinkwasser dem Oberflächenwasser wieder entnommen.

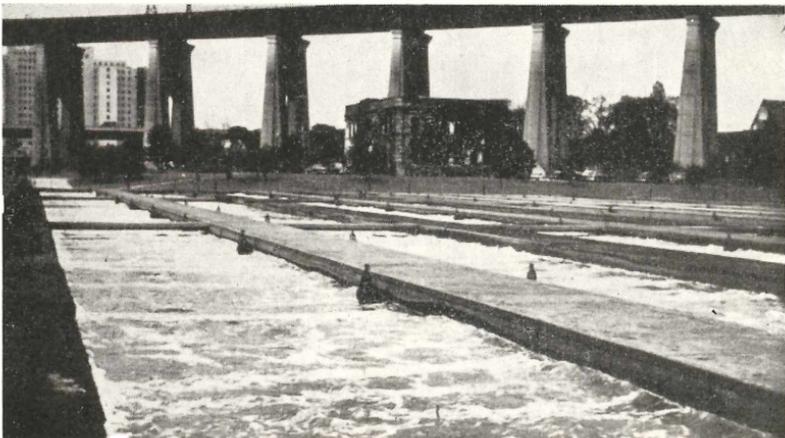
Die größte Kläranlage der Welt, die Belebtschlammanlage Chicago auf Bild 16 ist für 2,8 Millionen Einwohner und 3,2 Millionen Einwohner-Gleichwerte, zusammen also für 6 Millionen EG ausgelegt und reinigt das Abwasser von 250 bis 280 mg BSB/l auf unter 10 mg/l im Jahresdurchschnitt. Die Aufenthaltszeit in der Belebtschlammanlage beträgt einschließlich Rücklaufschlamm im 24-Stunden-Mittel 3,5 bis 4 Stunden, die Raumbelastung 540 g BSB/m<sup>3</sup> Beckenvolumen.

Ein wesentlicher Fortschritt in der Steigerung der Raumbelastung wurde durch die in New York entwickelte *Gould'sche Stufenbelastung* erreicht, indem das Abwasser nicht am Anfang, sondern über die gesamte Länge



*Abb. 16. Kläranlage Chicago*

der Becken stufenweise verteilt zugeführt wird, während die Zugabe der gesamten Rücklaufschlammmenge am Anfang der Becken erfolgt. Bei dieser Betriebsweise wird die starke Überlastung des belebten Schlammes am Anfang des Belüftungsbeckens vermieden, der Schlamm wird intensiver belüftet und das Schlammalter steigt an.



*Abb. 17. Belebtschlammbecken Words Island, New York*

Mit diesem Verfahren, nach dem in New York die Kläranlage Words Island — Bild 17 — betrieben wird, kann eine Steigerung der Raumbelastung in der Belebtschlammanlage auf  $750 \text{ g BSB/m}^3 \text{ Tag}$ , also um etwa 40 Prozent erreicht werden.

Die bisherigen Ausführungen zeigen, daß die Leistungsfähigkeit der Druckluftbelebtschlammverfahren begrenzt ist, da für die Aufnahme des Sauerstoffes eben nur die 4 m Höhe zwischen Einblasestelle der Druckluft am Beckenboden und dem Wasserspiegel zur Verfügung stehen.

Dr. Pasveer vom Institut für Gesundheitstechnik, TNO Den Haag, in Holland ist daher einen anderen Weg gegangen und hat versucht, das *Bürstenverfahren*, das ja von Kessener vor etwa 20 Jahren in Holland angewandt wurde, weiter zu entwickeln und den Sauerstoffeintrag zu erhöhen. Er hat gefunden, daß die Geschwindigkeit des Sauerstoffeintrages das alleinige Kriterium für die Leistungssteigerung des Belebtschlammverfahrens ist und daß, wenn genügend Sauerstoff zugeführt wird, sich die Mikroorganismen in gleichem Maße entwickeln und auch in der Lage sind, die Schmutzstoffe abzubauen.

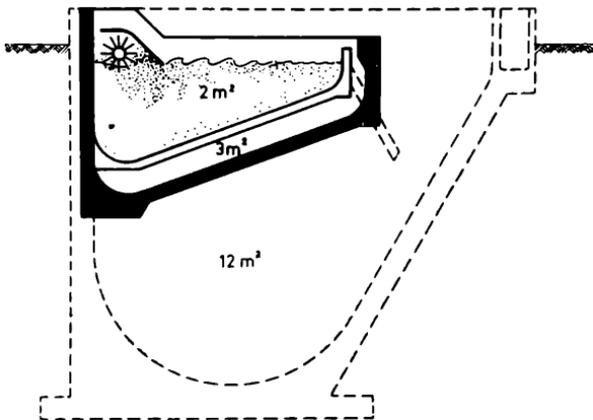


Abb. 18. Belebtschlammbecken  
nach TNO — Dr. Pasveer und frühere Form

Während der Versuche wurde ein Belebtschlammbecken mit einer rotierenden Bürste von  $12 \text{ m}^2$  Querschnitt nach Bild 18 stufenweise bis auf  $2 \text{ m}^2$ , also auf ein Sechstel des ursprünglichen Wertes verkleinert und dabei der Sauerstoffeintrag gemessen.

Die Intensität des Sauerstoffeintrages wird durch das sogenannte Sauerstoffeintragvermögen, auch oxygenation capacity, kurz OC genannt, in g

je  $\text{m}^3$  Beckenvolumen und Stunde gekennzeichnet, gibt also die Geschwindigkeit an, mit welcher der Sauerstoff von sauerstofffreiem Wasser aufgenommen wird. Dieses Sauerstoffeintragvermögen betrug bei der klassischen Bürste nach Versuchen von W u h r m a n n an der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der TH Zürich  $28,3 \text{ g/m}^3$  Stunde. Der Wert konnte im Laufe der Entwicklung auf über  $900 \text{ g/m}^3$  Stunde, also auf das dreißigfache gesteigert werden, indem das Beckenvolumen verkleinert und das Sauerstoffeintragvermögen der Bürste erhöht wurde. Es wurde systematisch untersucht, wie sich die Drehzahl der Bürste, die Eintauchtiefe, die Bürstenform (Bestückung, Außendurchmesser usw.) und die Beckenform auf das Sauerstoffeintragvermögen und damit auch auf den BSB-Abbau auswirken.

Für den Sauerstoffeintrag ist folgende Beobachtung entscheidend: Die ein Molekül starke, also monomolekulare Grenzschicht zwischen Wasser und Luft sättigt sich in einer zehnmillionstel Sekunde mit Sauerstoff. Der Übergang von dieser Grenzschicht in das Innere des Wassers erfolgt dagegen sehr langsam. Eine ruhende Sauerstoffblase von nur  $1 \text{ mm } \varnothing$  in Wasser löst sich erst nach 3,5 Stunden vollständig auf. Es kommt also darauf an, diese Grenzschicht möglichst schnell auszuwechseln, denn nur dadurch wird der Sauerstoffeintrag beschleunigt. Für diese Aufgabe ist die



Abb. 19. Belebtschlammanlage mit rotierenden Bürsten

Bürste hervorragend geeignet. Auf Bild 19 ist zu erkennen, welche intensive Durchmischung von Wasser und Luft in der Nähe der Bürste stattfindet.

Die seither aus nichtrostendem Stahl hergestellten Käämme der klassischen Kessener-Bürste wurden im Laufe der Versuche durch Stäbe aus Winkelstahl ersetzt, die stachelartig auf der Welle befestigt sind, wie das Bild 20 zeigt, und die die Luft wirkungsvoll in das Wasser einpeitschen und den Beckeninhalt intensiv umwälzen. Als Werkstoff für die Winkelstähle einer Stabwalze kann normaler Stahl verwendet werden, da durch Wahl geeigneter starker Profile eine ausreichende mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit bei den auftretenden 40 Millionen Lastwechsel im Jahre erreicht werden.

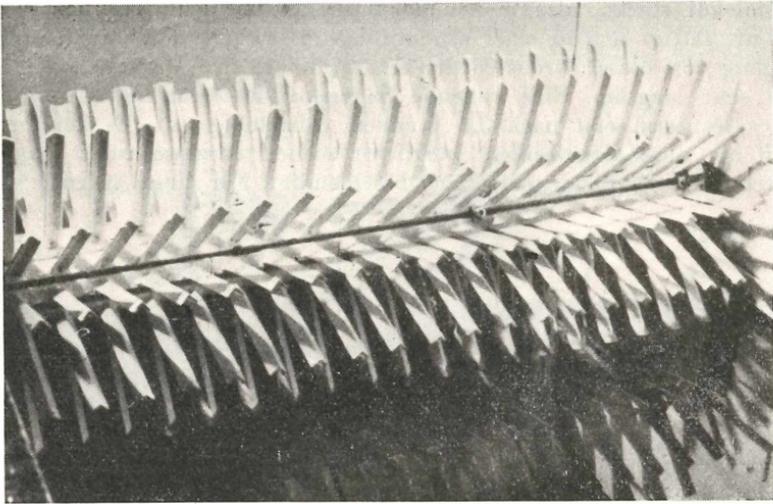


Abb. 20. Stabwalze „System TNO — Passavant“

Auf Bild 21 ist als Ergebnis der eingehenden Untersuchungen, das Sauerstoffeintragvermögen und der Energiebedarf verschiedener Stabwalzenformen von 50 cm Durchmesser bei 13 cm Eintauchtiefe in Abhängigkeit von der Drehzahl aufgetragen.

Es ist klar zu erkennen, wie das Sauerstoffeintragvermögen in g/m Bürste und Stunde bis zu einer Drehzahl von 130 bis 140 Upm etwa linear ansteigt, dann mehr oder weniger abfällt und wie bis zu dieser Drehzahl

die Stabwalze mit der in Drehrichtung offenen Winkelseite und einem Abstandsverhältnis von Winkelbreite zu Lücke gleich 1:1 der höchste Eintrag gegenüber dem Verhältnis 1:1,5 sowie den Stäben mit Winkelspitze in Drehrichtung erreicht wird. Der Energiebedarf steigt etwa stetig mit der Drehzahl an.

Die betriebswirtschaftliche Seite der Belüftungsanlage wird durch das Verhältnis von Sauerstoffeintragvermögen (g/h) zu Energiebedarf (kW)

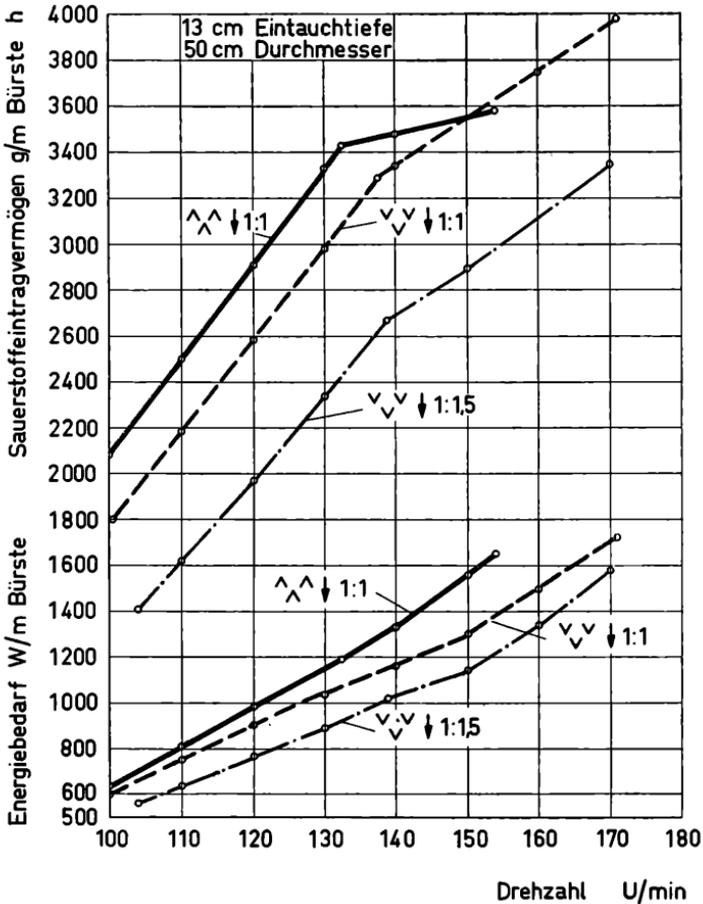


Abb. 21. Sauerstoffeintragvermögen und Energiebedarf, abhängig von der Drehzahl

ausgedrückt und ist für die hier untersuchten Bürstenformen in Bild 22 dargestellt.

Bis zu einer Drehzahl von 130 Upm ist die Stabwalze mit in Drehrichtung offener Winkelseite den anderen Formen überlegen, und sie wird daher bevorzugt zur Ausrüstung von Belüftungsbecken verwendet.

Da das Sauerstoffeintragvermögen der angewendeten Bürstenform und auch die Beziehung zum BSB-Abbau durch praktische Versuche an Kläranlagen bekannt sind, kann die geplante Anlage nach den optimalsten und wirtschaftlichsten Gesichtspunkten ausgelegt werden.

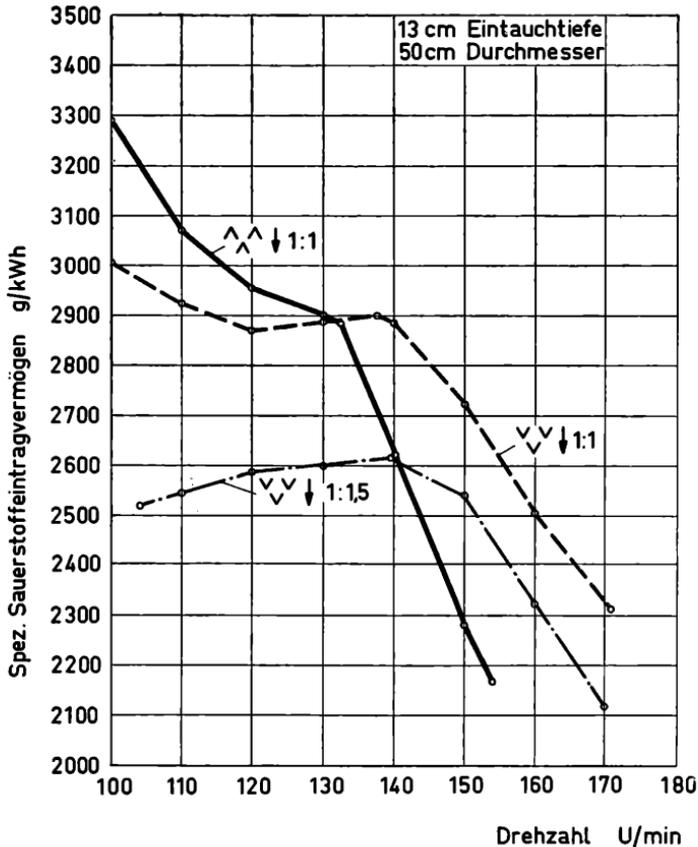


Abb. 22. Spezifisches Sauerstoffeintragvermögen abhängig von der Drehzahl

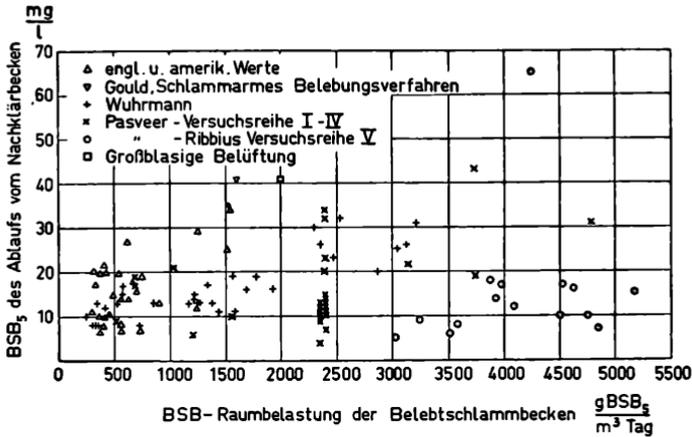


Abb. 23. BSB<sub>5</sub> des Endablaufes und BSB<sub>5</sub>-Raumbelastung verschiedener Belebtschlammverfahren

Wenn auch bei einer normalen städtischen Kläranlage ein Sauerstoffeintrag von 3000 g je Meter Bürste und Stunde nicht erforderlich ist, so verlangen doch stark gewerblich verschmutzte Abwässer eine Behandlung mit großer Sauerstoffzufuhr. So konnten z. B. die Abwässer einer Margarinefabrik mit einem mittleren BSB von 400 mg/l in einer Versuchsanlage durch Stabwalzenbelüftung erfolgreich abgebaut werden.

Um nun die verschiedenen Belebtschlammverfahren miteinander vergleichen zu können, wurde der erreichte BSB<sub>5</sub> des Ablaufes vom Nachklärbecken in mg/l in Abhängigkeit von der BSB<sub>5</sub>-Raumbelastung der Belebtschlammbecken in  $\frac{\text{g BSB}_5}{\text{m}^3 \text{ Tag}}$  für die auf Bild 23 angegebenen englischen und amerikanischen Anlagen, für die Gould'sche Stufenbelastung, für die Versuche von Wuhrmann, Pasveer und Ribbius und die großblasige Belüftung aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß von Pasveer in Versuchsanlagen mit Bürstenbelüftung bei Raumbelastungen über  $\frac{3000 \text{ g BSB}_5}{\text{m}^3 \text{ Tag}}$  noch eine Vollreinigung unter 20 mg/l BSB<sub>5</sub> erreicht wird, während die klassischen englischen und amerikanischen Belebtschlammanlagen bei etwa gleichem Reinigungsgrad nur mit wesentlich niedrigeren Raumbelastungen arbeiten.

Für den Tropfkörper sind in Bild 24 die gleichen Abhängigkeiten zwischen BSB<sub>5</sub> des Ablaufes vom Nachklärbecken und der BSB<sub>5</sub>-Raumbelastung der Tropfkörper aufgetragen.

Die übliche scharfe Trennung zwischen Hochlast- und Schwachlast-Tropfkörper wird hier nicht vorgenommen, es kommt hier lediglich auf die Raumbelastung der Tropfkörperfüllung an, die beliebig geändert werden kann. Je höher jedoch die Raumbelastung gewählt wird, desto höher liegt auch der Abflußwert am Nachklärbecken. Maßgebend für die Kennzeichnung des Hochlasttropfkörpers ist lediglich die Oberflächenbelastung, d. h. die Spülwirkung, die mindestens  $0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$  betragen sollte, bezogen auf die Tagesbelastung und nicht auf den 24-Stunden-Mittelwert. Die obere ausgezogene Kurve wurde auf Grund von eingehenden Messungen an zahlreichen englischen, amerikanischen und älteren deutschen Anlagen ermittelt, während die untere, gestrichelte Kurve, die etwa parallel zur oberen verläuft, Abbauleistungen von neueren deutschen Tropfkörpern darstellt, die mit guter Bodenbelüftung, gleichmäßiger Körnung und Abwasser-Verteilung und mit großer Höhe ausgeführt sind. Man sieht, daß z. B. für einen  $\text{BSB}_5$  von  $30 \text{ mg/l}$  am Endablauf die  $\text{BSB}_5$ -Raumbelastung von  $430$  auf  $900 \text{ g}/\text{m}^3 \text{ Tag}$ , also verdoppelt werden konnte, ein beachtlicher technischer Fortschritt.

Solche Hochlasttropfkörper auf der Kläranlage Hagen des Ruhrverbandes zeigt Bild 25; sie werden täglich mit etwa  $80\,000 \text{ m}^3$  Abwasser, entsprechend  $300\,000$  Einwohnern belastet.

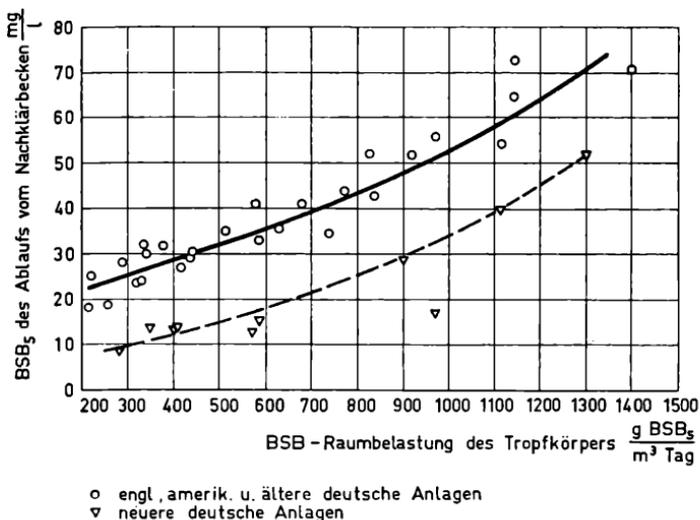


Abb. 24.  $\text{BSB}_5$ -Raumbelastung und Endablauf für Tropfkörper



Abb. 25. Hochlasttropfkörper Hagen (Ruhrverband)  
für 80 000 m<sup>3</sup>/Tag

Die bestehende Anlage aus vier Tropfkörpern im Vordergrund wird durch zwei weitere Tropfkörper vergrößert, deren Drehsprenger je 475 l/sec Abwasser verarbeiten.

Bei einer Gegenüberstellung von Tropfkörper mit Belebtschlammanlagen spricht für den Tropfkörper, daß er sehr einfach im Aufbau und in der Bedienung ist, wenig Wartung erfordert und besonders auch für kleinere Anlagen geeignet ist. Die untere Grenze für Druckluft-Belebtschlammanlagen liegt etwa bei 100 000 Einwohnern, der Anwendungsbereich für die vorgehend erwähnte Stabwalzenbelüftung etwa zwischen Tropfkörper- und Belebtschlammverfahren.

Ein *Betriebskostenvergleich* einiger biologischer Reinigungsverfahren, zusammengestellt in der Tabelle 26, zeigt, daß der erforderliche Energiebedarf in kWh für den Abbau von 1 kg BSB<sub>5</sub> bei Belebtschlammanlagen mit 0,6 bis 1,0 kWh noch das etwa dreifache wie bei Hochlasttropfkörpern mit 0,2 bis 0,3 kWh beträgt, immer vorausgesetzt, daß das vorgereinigte Abwasser auf den Tropfkörper gepumpt wird. Das ist ohne weiteres verständlich, da das Hochfördern von Wasser durch moderne Pumpen mit besserem Wirkungsgrad erfolgen kann als das Verdichten der Luft, wobei nur 20 Prozent Sauerstoff mehr oder weniger wirksam in das Abwasser eingetragen wird, während 80 Prozent mitverdichteter Stickstoff höchstens zur Umwälzung beiträgt.

Tab. 26. *Strombedarf biologischer Reinigungsverfahren*

Schwachlasttropfkörper mit niedriger Bauhöhe	0,1 bis 0,2 kWh/kg BSB <sub>5</sub>
Verschiedene deutsche hohe und hochbelastete Tropfkörper	0,2 bis 0,3 kWh/kg BSB <sub>5</sub>
Belebtschlammanlagen	0,6 bis 1,0 kWh/kg BSB <sub>5</sub>
11-Jahres-Durchschnitt der Belebtschlamm-anlage Mogden (1,2 Mill. Einw.)	0,79 kWh/kg BSB <sub>5</sub>
Von Hopmanns und Schmitz-Lenders wurden auf der ATV-Tagung München 1954 als Mittelwert für Belebtschlammanlagen angegeben	0,7 kWh/kg BSB <sub>5</sub>
Großblasige Belüftung in Buchenhofen	0,66 kWh/kg BSB <sub>5</sub>

In den europäischen Ländern kann die Frage nach der gesamtwirtschaftlichen Anlage noch nicht eindeutig beantwortet werden, da zum Vergleich noch nicht genügend Belebtschlammanlagen zur Verfügung stehen. Für eine große Anzahl Tropfkörperanlagen in Deutschland betragen die Baukosten DM 25,— bis DM 30,— je Einwohner, während für Belebtschlamm-anlagen DM 45,— aufgewendet wurden. Es ist jedoch zu erwarten, daß sich hier im Laufe der weiteren Entwicklung eine Verbilligung erzielen läßt.

Die viel diskutierte Frage, ob eine Kläranlage wirklich in der Lage ist, *schädliche Bakterien* abzubauen, kann dahingehend beantwortet werden, daß mit dem Grade der Reinigung auch eine Vernichtung dieser Bakterien, vor allem in der biologischen Feinreinigung erfolgt.

In der Tabelle 27 sind die Ergebnisse einer Untersuchung auf *Escherichia coli* und *Streptococcus faecalis* an großen englischen Schwachlasttropfkörperanlagen, die den BSB auf mindestens 90 Prozent abbauen, zusammengefaßt.

Tab. 27 *Bakterien-Abbau in sieben großen englischen Tropfkörperanlagen.*

	Escherichia coli			Streptococcus faecalis		
	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel
Frisches Abwasser	480 000	103 000	296 000	175 000	11 600	57 000
Abfluß Vorklärbecken	273 000	56 000	130 000	70 000	3 020	24 000
Abfluß Nachklärbecken	9 000	0 191	2 700	1 730	0 035	0 392
Prozentualer Abbau:						
1. Absetzbecken	43,0	45,7	56,0	60,0	74,1	58,0
2. Biolog. Anlage	96,7	99,3	98,0	97,7	98,8	98,3
3. Gesamtanlage	98,1	99,8	99,1	99,0	97,7	99,3

Der Gesamtabbau der Bakterien ist mit 98 bis fast 100 Prozent als hervorragend zu bezeichnen, wobei der Anteil des Vorklärbeckens mit 6 Stunden Aufenthaltszeit nur etwa 50 Prozent beträgt. Eine Klärung kann also auch auf diesem Gebiet einiges leisten.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß die moderne Abwassertechnik in der Lage ist, jeden Grad der Reinigung zumindest von städtischem Abwasser durch geeignete mechanische und biologische Verfahren zu erreichen, und daß die Aufgaben, die an die Klärtechnik gestellt werden, durch eine enge Zusammenarbeit zwischen der Kommunalwirtschaft, dem beratenden Ingenieur und der Industrie erfolgreich gelöst werden können.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1956

Band/Volume: [1956](#)

Autor(en)/Author(s): Rumpf A.

Artikel/Article: [Auslegung und Einrichtung städtischer Kläranlagen 74-97](#)