

BEIHEFTE ZUM GESUNDHEITS-INGENIEUR
REIHE II HEFT 21
HERAUSGEGEBEN VON DER LEITUNG DES GESUNDHEITS-INGENIEURS

Die Leistung und Berechnung von Spültropfkörpern

von

Dr.-Ing. Franz Pöpel

Mit 31 Bildern



MÜNCHEN UND BERLIN 1943
VERLAG VON R. OLDENBOURG

Inhaltsverzeichnis.

	Seite		Seite
Einleitung	2	a) Einfluß der im Tropfkörper stattfindenden Schlamm- speicherung auf die Abwassertemperatur	21
1. Einfluß des Sauerstoffbedarfes auf die Leistung der Tropfkörper	4	b) Einfluß des Temperaturgefälles auf die natürliche Belüftung offener Tropfkörper	23
2. Einfluß der Benetzungsfläche der Füllstoffe auf die Leistung der Tropfkörper	7	c) Der erforderliche Sauerstoffverbrauch für die Reinigung des Abwassers in Tropfkörpern	23
a) Einfluß der Gestalt der Benetzungsfläche auf die Leistung der Tropfkörper	7	d) Einfluß der Abwassertemperatur auf die Leistung der Tropfkörper	26
b) Einfluß der Art der Benetzungsfläche auf die Leistung der Tropfkörper	8	e) Einfluß des Temperaturgefälles auf die Leistung der Tropfkörper	27
c) Einfluß der Größe der Benetzungsfläche auf die Leistung der Tropfkörper	9	6. Nachprüfung der Gleichung der Sauerstoffzufuhr an Betriebsergebnissen anderer Kläranlagen	30
d) Einfluß der Benetzungsfläche auf die Bildung von Nitraten	13	7. Nachprüfung eines Entwurfes für eine biologische Reinigungsanlage mit Spültropfkörpern	37
3. Einfluß der Körperhöhe auf die Leistung der Tropfkörper	13	Schluß	39
4. Einfluß der Raum- und Flächenbelastung auf die Leistung der Tropfkörper	14	Bezeichnungen	39
5. Einfluß der Temperaturverhältnisse auf die Leistung der Tropfkörper	21	Schrifttumsverzeichnis	39

Vorwort.

Die mir obliegende Entwurfsarbeit für Reinigungsanlagen für die gemeindlichen und industriellen Abwässer der verschiedensten Zusammensetzung erforderte eine eingehende Erforschung der Leistung der neuzeitlichen Tropfkörper, nachdem diese in einer größeren Anzahl von Kläranlagen erfolgreich Anwendung gefunden hatten. Aus der großen Fülle der veröffentlichten und selbst gefundenen Ergebnisse an ausgeführten Betriebs- und Versuchsanlagen wurden bereits 1938 einige wichtige Abhängigkeiten zwischen der Belastung, Betriebsweise und Leistung der Tropfkörper herausgearbeitet. Bei der späteren Nachprüfung der gefundenen Gesetzmäßigkeiten an weiteren Anlagen ergab sich jedoch die Notwendigkeit einer Erweiterung und Vertiefung der bisher gefundenen Zusammenhänge. Die mühevollen und sehr zeitraubenden Vergleiche der unter den verschiedensten Betriebsbedingungen festgestellten Ergebnisse, die ich neben sehr angestrebter beruflicher Arbeit in den letzten Jahren durchgeführt habe, konnten bereits im November 1941 abgeschlossen und in der vorliegenden Schrift: »Die Leistung und Berechnung von Spültropfkörpern« zusammengefaßt werden. Die während der Bearbeitung erschienenen Veröffentlichungen wurden bei der Festlegung der Abhängigkeiten berücksichtigt. Die Arbeit wurde im Laufe des Jahres 1942 auf Anraten einiger Fachleute, denen sie zur Kenntnisnahme zugesandt worden war, in die Reihe II der Beihefte des Gesundheits-Ingenieurs aufgenommen und gedruckt. Die während dieser Zeit noch erschienene Abhandlung von Demoll und Liebmann: »Die Bedeutung des Tropfkörpermaterials für die Reinigungswirkung« — *Gesundh.-Ing.* Jg. 65 (1942) H. 7/8 S. 55—64 —, in welcher der rauhen, geklüfteten Oberfläche der Lavaschlacke ein wesentlich günstigerer Einfluß auf die Leistung der Körper zugeschrieben wird als den Füllstoffen mit andersgestalteter Oberfläche, mußte unberücksichtigt bleiben. Da die von Demoll beobachteten Erscheinungen an Scheibentropfkörpern nicht an Tropfkörpern mit größerer Bauhöhe festgestellt werden konnten, muß dieser günstige Einfluß der rauhen Füllstoffoberfläche zunächst auf Körper mit geringer Bauhöhe und das von Demoll zu den Versuchen benutzte künstliche Abwasser beschränkt bleiben.

Es ist mir ein Bedürfnis, der Leitung des Gesundheits-Ingenieurs, im besonderen dessen Geschäftsführenden Herausgeber Dr.-Ing. habil. A. Heilmann, für die Aufnahme meiner Abhandlung in die Reihe der Beihefte zum Gesundheits-Ingenieur und die Förderung der Drucklegung zu danken. Dieser Dank gilt auch dem Verlag R. Oldenbourg, München und Berlin, der trotz der mit dem Kampfe Deutschlands um seine Freiheit verbundenen Schwierigkeiten die Herausgabe des Beiheftes ermöglicht hat.

Den Haag, im November 1942.

Dr.-Ing. F. Pöpel.

Einleitung.

Die in den letzten Jahren mehrfach für die Abwasserreinigung angewandten hochbelasteten Tropfkörper blicken auf eine 70jährige Entwicklung zurück. Professor Dunnbar [1] erwähnt, daß der erste Tropfkörper im Jahre 1871 in Birmingham von Baily Denton nach dem Entwurf von Ed. Franklund gebaut wurde. Beim Studium der zu Anfang dieses Jahrhunderts erschienenen Fachliteratur [1] fällt es auf, daß nahezu alle wichtigen, die Leistungsfähigkeit der Tropfkörper bestimmenden Einflüsse in ihren Grundzügen bereits bekannt waren. Es muß vor allem der systematischen Forschungs- und Sammlungstätigkeit von Prof. Dunnbar zugeschrieben werden, daß die auf den verschiedenen Kläranlagen in Europa und Amerika gemachten Betriebserfahrungen zusammengetragen und auch bei der Ausbildung neuer Kläranlagen nutzbringend verwendet wurden.

Die Verschlammungserscheinungen alter Tropfkörper und ihre üblen Begleitumstände, wie die Abnahme der Reinigungswirkung, die Gestank- und Fliegenplage, sind beim Rückschauen auf den damaligen Ausbau der biologischen Reinigungsanlagen auf das Fehlen geeigneter Einrichtungen für die Vorreinigung des Abwassers und die Schlammbehandlung zurückzuführen.

Der Siegeszug der Belebtschlammanlagen, der die Anwendung der Tropfkörper auf kurze Zeit in den Hintergrund drängte, ist wohl in erster Linie darauf zurückzuführen, daß ihnen die obigen Nachteile, selbst bei fehlender Vorreinigung, nicht anhaften. Diese ästhetischen Vorteile, die sich mit einer sehr weitgehenden Reinigung des Abwassers paarten, mußten jedoch mit sehr hohen Anlage- und Betriebskosten erkauft werden. Wenn auch durch die Anwendung der vervollkommenen Einrichtungen für die mechanische Abwasserklärung die Betriebskosten der Belebtschlammanlagen gesenkt werden konnten, so wurde doch ihre Empfindlichkeit gegenüber den stoßweisen Belastungen mit stark verschmutzten Abwässern als ein Mangel in betrieblicher Hinsicht empfunden.

Da ferner eine Anzahl industrieller Abwässer der biologischen Reinigung mit belebtem Schlamm nur sehr schwer zugänglich gemacht werden konnte und sich dagegen die Tropfkörper bei zweckentsprechender Ausbildung und richtiger Betriebsführung als unbedingt zuverlässig erwiesen, mußten diese doch immer wieder für den Bau von Kläranlagen in Erwägung gezogen werden. Es ist daher erklärlich, daß nach einem Reinigungsverfahren gesucht wurde, bei dem die Vorteile des Belebtschlammverfahrens mit denen des Tropfkörpers unter Ausschaltung der den beiden Verfahren bisher noch anhaftenden Mängel verbunden werden. Die angestellten Untersuchungen europäischer und amerikanischer Forscher über die Reinigung des Abwassers mit Hilfe von Tropfkörpern, die dank der in der Zwischenzeit vervollkommenen Untersuchungsverfahren mit größerer Genauigkeit als früher nachgeprüft werden konnten, führten dann unter Einschaltung der verbesserten Absetz- und Schlammbehandlungsanlagen zu der Entwicklung der neuzeitlichen hochbelasteten Tropfkörperanlage. Sie besteht im wesentlichen aus der Vorklärung, dem Tropfkörper und der Nachklärung. Der in dem Absetzbecken zurückgehaltene Schlamm wird in frischem Zustande dem Faulraum oder anderen Schlammbehandlungsanlagen zugeführt. Das Arbeitsschema einer solchen Anlage mit Abwasserrückführung

zeigt Bild 1. Bei offenen oder überdeckten Tropfkörpern mit künstlicher Lüftung kann die Abwasserrückführung fort-fallen.

Von den bahnbrechenden Forschern über die Reinigungsvorgänge in Tropfkörpern stellten Blunk [2] und Halverson [3] die von Prof. Dunnbar bereits erkannte Forderung der ausreichenden Zufuhr von Luftsauerstoff zum biologischen Rasen durch zweckmäßige Ausgestaltung der natürlichen und künstlichen Lüftung offener und geschlossener Tropfkörper in den Vordergrund. H. Jenks [4] hat nun unter Anlehnung an das Belebtschlammverfahren als erster die sich im Tropfkörper abspielenden biologischen Reinigungsvorgänge in so zweckmäßiger Weise mit den gut arbeitenden neuzeitlichen Absetzanlagen verbunden, daß ihm das Verdienst der Schaffung eines neuen Reinigungsverfahrens zugesprochen werden muß.

Dem weitschauenden Blick eines Fachmannes wie Dr. Imhoff war es jedoch vorbehalten, mit der ihm eigenen klaren Einfachheit, die gemeinsamen und unterschiedlichen Kennzeichen alter und neuer Tropfkörper der letzten Entwicklungsepoche herauszuarbeiten und damit die erfahrungsmäßigen Grundlagen für die empirische Bemessung dieser neuzeitlichen Anlagen zusammenzutragen. Die von Dr. Imhoff [5] in seinem Artikel »Wie berechnet man hochbelastete Tropfkörper« gewählten Bezeichnungen sind daher auch als Dank für die durch diese Abhandlung empfangene Anregung bei dem Versuch zur Schaffung eines genaueren Berechnungsverfahrens derartiger Anlagen übernommen worden.

Äußerlich unterscheidet sich der moderne Tropfkörper von dem alten nur sehr unwesentlich. Das Abwasser wird bei beiden mit geeigneten Vorrichtungen so gleichmäßig

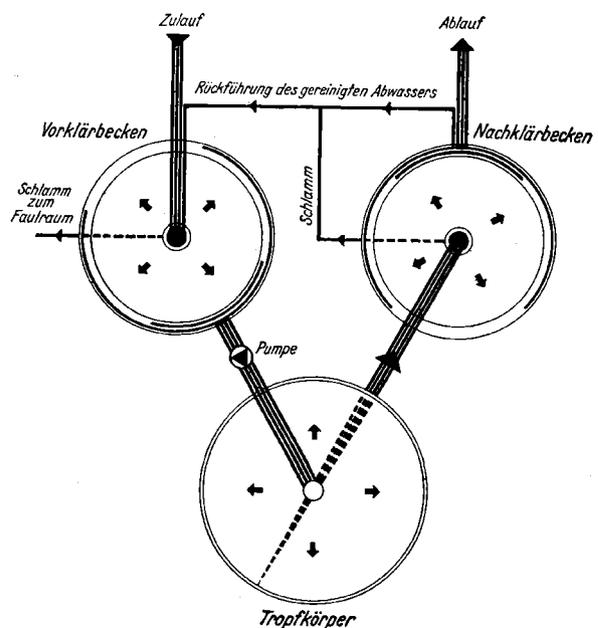


Bild 1. Hochbelastete Tropfkörperanlage mit Abwasserrückführung.

wie möglich über die Körper verteilt. Das Neue an den neuzeitlichen Reinigungsanlagen ist lediglich in der zweckmäßigen Aufteilung des Reinigungsvorganges zu erblicken. Die Tropfkörper wurden früher zur Zurückhaltung der absetzbaren und nicht absetzbaren Feststoffe sowie der gelösten organischen Stoffe verwendet. Außerdem wurde ihnen noch der aerobe Abbau der im Körper aufgespeicherten organischen Feststoffe zugewiesen. Es wurde nämlich ein fäulnisfreier Ablauf erstrebt, der lediglich durch bereits bis zur Fäulnisunfähigkeit mineralisierte Feststoffe von ursprünglich organischer Struktur — den »humösen Häutchen« [1] — verunreinigt war und der leicht in kleinen Nachklärbecken geklärt werden konnte.

Die Abscheidung der absetzbaren Stoffe erfolgt jetzt in dem Vorklärbecken. Lediglich die biologisch oxydative Reinigung des Abwassers wird den Tropfkörpern zugewiesen, die nun infolge ihrer verminderten und vereinfachten Tätigkeit so stark belastet werden können, daß jeder nicht benötigte Überschuß an Mikroorganismen und höheren Kleintbewesen sofort nach ihrer Bildung und Leistung der Reinigungsarbeit ausgespült werden kann. Die sehr feinen, noch fäulnisfähigen Flocken werden dann von dem Abwasser in Nachklärbecken getrennt. Das gereinigte Abwasser kann dem Vorfluter zugeleitet werden; der Schlamm der Vor- und Nachklärbecken muß dagegen den geeigneten Schlammbehandlungsanlagen, den Faulräumen oder Trocknen- und Verbrennungsanlagen zugeführt werden.

Die neueren Untersuchungen aller Forscher, die in dem Fachschrifttum eingehend veröffentlicht wurden, lassen erkennen, daß die Leistungsfähigkeit der hochbelasteten Tropfkörperanlagen von folgenden Einflüssen abhängt:

1. von dem Sauerstoffbedarf des dem Tropfkörper zufließenden Abwassers,
2. von der Benetzungsfläche der Füllstoffe, sowie der sich auf der Benetzungsfläche ansiedelnden Menge und Art an biologischem Rasen,
3. von der Höhe des Tropfkörpers,
4. von der Raum- und Flächenbelastung des Tropfkörpers,
5. von der Temperatur des Abwassers und der Luft und von der damit im Zusammenhang stehenden natürlichen oder künstlichen Lüftung offener oder geschlossener Tropfkörper.

Als Maßstab für die Reinigungswirkung oder die innere Arbeitsleistung der Tropfkörper wird die Sauerstoffzufuhr eingeführt. Sie stellt die Sauerstoffmenge dar, die die Kleinlebewelt beim Überrieseln der Füllstoffe auf das Abwasser überträgt.

Das den Tropfkörpern zugeleitete Abwasser mit bestimmter Verschmutzung muß dagegen als seine äußere Belastung angesehen werden. Auf die engen Zusammenhänge, die zwischen der Arbeitsleistung — d. h. der Sauerstoffzufuhr einerseits — und der Belastung der Tropfkörper andererseits bestehen, hat bereits Knechtges [6] in seinem Aufsatz über die Grenzen der Tropfkörperbelastung hingewiesen.

Im nachfolgenden ist versucht worden, die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen der Leistungsfähigkeit des Körpers und den oben erwähnten fünf Faktoren aufzuzeigen, um dem Entwurfs- und Betriebsingenieur geeignete Unterlagen für den Bau und Betrieb biologischer Reinigungsanlagen zur Verfügung zu stellen.

I. Einfluß des Sauerstoffbedarfes auf die Leistung der Tropfkörper.

Der Sauerstoffbedarf des dem Tropfkörper zur Reinigung zugeführten Abwassers (S_r) kann als seine äußere Belastung aufgefaßt werden. Dieser stehen die sich im Innern des Körpers abspielenden physikalischen Klärungs- und biologischen Oxydationsvorgänge gegenüber, durch die dem Abwasser Sauerstoff zugeführt wird, so daß der im Nachklärbecken geklärte Ablauf des Tropfkörpers nur noch einen Sauerstoffbedarf S_a hat. Die Sauerstoffzufuhr Z kann also aus dem Unterschied des Sauerstoffbedarfes vom zu- und abfließenden Abwasser errechnet werden.

$$Z = S_r - S_a \dots \dots \dots (1)$$

Sie kann aber auch in Abhängigkeit vom Sauerstoffbedarf des Zuflusses ausgedrückt werden, so daß sich mit $S_r = n S_a$ folgende Beziehung ergibt:

$$Z = S_r - \frac{S_r}{n} = \frac{n-1}{n} S_r \text{ kg O}_2/\text{m}^3 \text{ Abwasser} \dots (2)$$

Bei der Belastung von 1 m^3 Füllstoff mit $R \text{ m}^3/\text{Tag}$ Abwasser, wird diesem die von den biologischen Organismen erzeugte Sauerstoffmenge E zugeführt.

$$E = R (S_r - S_a) = \frac{n-1}{n} \cdot S_r \cdot R = Z \cdot R \text{ kg O}_2/\text{m}^3 \text{ Brocken} (3)$$

In allen Veröffentlichungen ist immer der 5 tägige biochemische Sauerstoffbedarf für das zu- und abfließende Abwasser angegeben worden. Die weiteren Betrachtungen sind daher auch auf dem 5 täglichen biochemischen Sauerstoffbedarf aufgebaut. Durch Einführung der Gleichung von Theriault können auch die Sauerstoffbedarfswerte für andere Zeiten und Temperaturen ermittelt werden.

Der Ablauf des Tropfkörpers hat normalerweise einen höheren BSB₅ als der des Nachklärbeckens. Dieses ist darauf zurückzuführen, daß im Tropfkörperablauf immer noch die aus dem Körper gespülten biologischen Hautflocken enthalten sind, die in erster Linie die Größe des BSB₅ bestimmen. Diese Verkleinerung ist aber nicht auf eine zu-

sätzliche Sauerstoffzufuhr oder Erzeugung im Nachklärbecken, sondern auf die Zuendeführung der im Tropfkörper eingeleiteten Oxydationsvorgänge zurückzuführen, wodurch

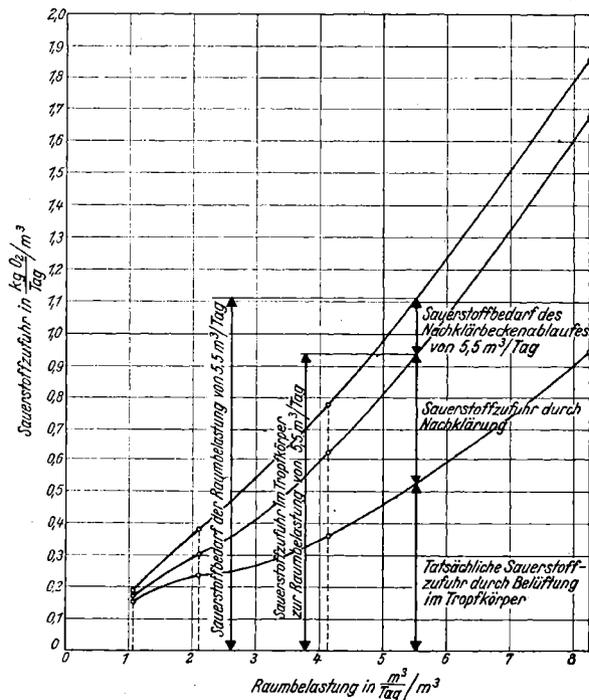


Bild 2. Sauerstoffzufuhr bei verschiedener Raumbelastung durch Belüftung des Abwassers in Tropfkörpern und Abscheidung der im Tropfkörperablauf enthaltenen Verunreinigungen in Nachklärbecken.