Beitrag zum Sandfangproblem

Autor(en): **Kropf, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **37 (1945)**

Heft 10-11

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-920796

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

mit dem üblichen Nährstoffmangel alpiner Seen die Ursache der Lebensarmut ist. Der Grimselsee hat wie die meisten alpinen Seen kurze Zuflüsse, und diese sind immer karge Nahrungsspender, auch wenn es Klarwasserbäche sind. Darum haben auch klare alpine Seen wenig Plankton und eine viel geringere Lebenserfüllung als alpine Sturzbäche, wo die Pflanzenwelt am Bachgrund immer ein Nährstoffsubstrat findet.

Dem Grimselstausee darf man es nicht zur Last legen, dass er kein Fischgewässer ist. Er liegt an einer Stelle, wo kein Kulturland überstaut und so auch früher für den Menschen keine Nahrung produziert wurde. Dafür produziert er «das tägliche Brot der Wirtschaft», nämlich elektrische Energie, vor allem die vielbegehrte Winterenergie. Daneben trägt der Grimselsee, der im Sommer zur Reisezeit gefüllt ist, zur Belebung der Gegend sehr viel bei. In der einförmigen Granitlandschaft wurde eine Art Fjord geschaffen, der von vielen prächtigen Alpenpflanzen umsäumt ist. Wir denken da vor allem an die rostrote Alpenrose (Rhododendron ferrugineum), den punktierten Enzian (Gentiana punctata), den Purpurenzian (Gentiana purpurea) und den Alpendrüsengriffel (Adenostyles glabra), der nächst dem See wächst. Seine grösste Schönheit zeigt der Grimselsee bei der «sonnigen Aar» nahe dem Unteraargletscher, wo er im Verein mit den Arvenbeständen und den zyklopischen Felsen ein Landschaftsbild von höchster alpiner Ausdruckskraft darstellt. Nicht zum Schaden, sondern zum Nutzen der ganzen Schweiz wurde der Grimselstausee wie jeder andere Stausee geschaffen, und seine kühne Anlage zeugt von der schöpferischen Kraft unserer Ingenieure und von der Leistungsfähigkeit der schweizerischen Industrie und ihrer Arbeiterschaft.

Beitrag zum Sandfangproblem

Von Dipl.-Ing. *A. Kropf*, Abteilungschef der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

A. Einleitung

Zur Entfernung der im städtischen Abwasser enthaltenen Schmutzstoffe bedarf es, je nach ihrer Art, verschiedener Verfahren. Die grobdispersen Stoffe oder Sperrstoffe werden mittels Rechen oder Sieben zurückgehalten. Für die feindispersen, absetzbaren Stoffe greift man zur mechanischen Reinigung oder «Klärung» in Absetzbecken, wobei auch da, je nachdem es sich um Schwimmstoffe, Sand oder Schlamm handelt, verschiedene Ausführungsformen in Frage kommen. Schliesslich folgen noch die biologischen Reinigungsverfahren, die zur Aufarbeitung der gelösten organischen Schmutzstoffe herangezogen werden.

Unter den absetzbaren Stoffen bildet der Sand, namentlich der Streusand, der hauptsächlich im Winter ausgiebig verwendet wird und bei der Schneeschmelze in die Kanalisationen gelangt, eine wichtige Kategorie. Seine separate Ausscheidung in besonderen Bauwerken ist deshalb von grosser Bedeutung, weil er als mineralischer Stoff nicht fäulnisfähig ist und somit in den Faulräumen nur schwer zu beseitigende Ablagerungen bildet, die im Laufe der Zeit den ordentlichen Faulprozess beeinträchtigen oder periodische mühsame Ausräumungen der Kammern bedingen. Sandfänge treffen wir auf jedem Klärwerk als erste Reinigungsstufe in Verbindung mit Rechenanlagen zur Zurückhaltung der Sperrstoffe.

Leider funktionieren die meisten Sandfänge, besonders in kleinen und mittleren Anlagen, nicht zur vollen Befriedigung. Bei Regenwetter, wenn am meisten Sand anfällt, gelangt ein beträchtlicher Teil davon durch den Sandfang in die Absetzanlage, während nachts, bei minimaler Wasserführung, organische Schmutzstoffe im Sandfang-Gerinne zur Ablagerung gelangen. Der aufgefangene Sand ist daher in der Regel stark mit Schlammstoffen durchsetzt und eignet sich für eine Wiederverwendung nicht. In gewissen Fällen wird diesem Uebelstande durch Einblasen von Pressluft von der Sohle her abgeholfen, was aber zur Folge hat, dass nebst den organischen Beimengungen auch die feinen Elemente der Sandmischung aufgewirbelt und abgespült werden.

Weil nach unserem Dafürhalten keine der bekannten Sandfangkonstruktionen voll befriedigt, haben wir uns zur Aufgabe gestellt, auf Grund wissenschaftlicher Untersuchungen und in Anlehnung an bereits vorhandene Arbeiten eine Konstruktion zu entwickeln, die dieses wichtige Problem der Abwasserpraxis befriedigend löst. Zur Abklärung der hydraulischen Verhältnisse haben wir zunächst in der Versuchsanstalt für Wasserbau eine Serie von Vorversuchen durchgeführt, die später durch eingehende Untersuchungen an einem Versuchssandfang auf dem Areal der Kläranlage der Stadt Zürich ergänzt wurden. Den Mitarbeitern, die uns bei der Durchführung dieser Versuche tatkräftig zur Seite standen, sprechen wir unsere volle Anerkennung aus. Ein ganz besonderer Dank gebührt dem Direktor der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E.T.H., Professor Dr.

Meyer-Peter, der durch seine verständnisvolle Unterstützung die Durchführung dieser Untersuchungen ermöglichte.

I. Theoretischer Teil

B. Physikalische Grundlagen des Absetzvorganges

1. Allgemeines über den Absetzvorgang

Die im Abwasser enthaltenen festen Stoffe setzen sich unter dem Einfluss der Schwerkraft zu Boden und bleiben da liegen, sobald die Turbulenz des Abflusses einen bestimmten Wert unterschritten hat. Die Hauptfaktoren, die bei diesem physikalischen Vorgang eine Rolle spielen, sind das Raumgewicht und die Korngrössen der sich absetzenden Teilchen, sowie die Zähigkeit und das spezifische Gewicht der Flüssigkeit.

Die absetzbaren Schwebestoffe lassen sich in zwei Kategorien einteilen, die sich prinzipiell verschieden verhalten und daher scharf zu unterscheiden sind. Während Stoffe mit *flockiger* Struktur (grosse Oberfläche) beim Absetzen andere benachbarte Partikelchen mitreissen und so zu immer grösser werdenden Flocken zusammenballen, setzen sich *sandige* Teilchen zu Boden, ohne einander gegenseitig zu beeinflussen. Beim flockigen Schlamm wächst die Sinkgeschwindigkeit der einzelnen Flocken mit der Tiefe, weil die grösseren Flocken eine relativ kleinere Oberfläche aufweisen und so dem Wasser, bzw. der Flüssigkeit einen kleineren Widerstand entgegensetzen, während beim sandigen Material die Sinkgeschwindigkeit der einzelnen Körner praktisch gesprochen konstant bleibt. In der Praxis lässt sich diese Trennung nicht scharf durchführen, vielmehr treffen wir alle möglichen Uebergänge zwischen den zwei genannten Kategorien sandig — flockig an.

Vorerst befassen wir uns nur mit dem *sandigen Schlamm* und bezeichnen mit:

L die Länge
B die Breite
H die Tiefe
} des prismatisch gedachten, horizontal durchflossenen Absetzbeckens.

Q die Zuflussmenge und

v_s die minimale Sinkgeschwindigkeit derjenigen Körner, die noch ausgeschieden werden sollen.

$v = \frac{Q}{B \cdot H}$, die mittlere horizontale Fliessgeschwindigkeit.

Unter der Voraussetzung einer gleichmässigen Geschwindigkeitsverteilung über den ganzen Querschnitt ist die Fliesszeit T durch das Becken:

$$T = \frac{L}{v} = \frac{L \cdot B \cdot H}{Q} \tag{1}$$

In derselben Zeit T muss ein schwebendes Sandkorn mit der Sinkgeschwindigkeit v_s die ganze Beckentiefe H durchwandern. Demnach:

$$T = \frac{H}{v_s} = \frac{L \cdot B \cdot H}{Q} \quad \text{oder} \tag{2}$$

$$Q = v_s \cdot L \cdot B = v_s \cdot F. \tag{2a}$$

Gleichung 2a) sagt aus, dass der Absetzvorgang lediglich von der Beckenoberfläche F und der Sinkgeschwindigkeit v_s und nicht etwa vom Beckeninhalt, bzw. von der Aufenthaltszeit T abhängt. Eine grosse Beckentiefe ist also bei sandigem Material unnötig.

Grundsätzlich anders liegen die Verhältnisse bei *flockigem* Schlamm (z. B. Belebtschlamm und Humusschlamm), dessen Sinkgeschwindigkeit, wie bereits erwähnt, nach der Tiefe zunimmt. Tiefe, vertikal durchflossene Trichterbecken sind für diese Schlammart besonders vorteilhaft; sie werden nach der Durchflusszeit bemessen, die erfahrungsgemäss zu rund 90 Minuten gewählt wird. Die Oberfläche des Beckens soll indessen so gross gewählt werden, dass die mittlere Steiggeschwindigkeit im oberen zylindrischen Teil des Beckens 1,5—3,0 m/h nicht übertrifft.

Häuslicher Abwasserschlamm ist ein Mittelding zwischen beiden genannten Kategorien. Die Bemessung der Absetzbecken erfolgt für diese in Ermanglung besserer Grundlagen nach der Durchflusszeit.

In diesem Aufsatze befassen wir uns nur mit dem sandigen Schlamm, dessen Sinkgeschwindigkeit im Absetzglas eindeutig ermittelt werden kann. Die Ableitung der Formel 2a erfolgte unter der Annahme, dass der Sand im ganzen benetzten Querschnitt verteilt sei und daher einzelne Körner die gesamte Bekkentiefe durchwandern müssen, bevor sie die Sohle erreichen. In Wirklichkeit bewegt sich der Sand im Zulaufkanal aber zur Hauptsache in Form auf der Sohle sich abwälzender Sandbänke, während die oberen Wasserschichten praktisch sandfrei sind. Aus diesem Grunde darf die Oberfläche beim horizontal durchflossenen Sandfang auf $^1/_2$ bis $^1/_3$ des nach Gleichung 2a) ermittelten Wertes reduziert werden, ohne dass die Wirkung merklich nachlässt.

2. Sinkgeschwindigkeit von sandigem Material

Die Sinkgeschwindigkeit von Sandkörnern im Wasser ist bereits eingehend studiert worden und findet bei der Schlämmanalyse als Methode zur Korngrössenbestimmung grobdisperser Systeme eine praktische Anwendung. Bei diesen bodenkundlichen Untersuchungen wird also auf Grund der jeder Teilchengrösse eigenen Sinkgeschwindigkeit auf die Kornverteilung geschlossen. Als theoretische Grundlage zur Bestimmung der Fallgeschwindigkeit in Funktion der Korngrösse dient die aus der Hydromechanik übernommene Formel von *Stokes*[1], die

[1] *G. G. Stokes:* Trans. Constr. Phil. Soc. 8, 287, 1845, 9, 8, 1851 Math. & Physic. Papers, 1, 75; 3, 59.
Prandtl: - Tietjens, Hydro- und Aeromechanik II.
Gruner: Die Schlämmanalyse, Kolloidforschung in Einzeldarstellungen, Bd. 10, Akadem. Verlagsgesellschaft Leipzig.

den Widerstand einer fallenden Kugel in einem Medium (Gas oder Flüssigkeit) bekannter Zähigkeit (Viskosität) angibt. Bezeichnen wir unter Zugrundelegung des technischen Mass-Systems mit:

w	den Widerstand	$[w] = \text{gr}$
$\varnothing$	den Korndurchmesser	$[\varnothing] = \text{cm}$
η	die Zähigkeit der Flüssigkeit, bzw. des Gases	$[\eta] = \text{gr} \cdot \text{cm}^{-2}\,\text{sec}$
v_s	die Sinkgeschwindigkeit	$[v_s] = \text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$
γ_1	das spez. Gewicht des fallenden Teilchens	$[\gamma] = \text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$
γ_2	das spez. Gewicht der Flüssigkeit	
g	die Gravitationskonstante	$[g] = 981\,\text{cm} \cdot \text{sec}^{-2}$

So lautet nach Stokes:

$$w = 3 \cdot \pi \cdot \varnothing \cdot \eta \cdot v_s \tag{3}$$

Dem Gewicht G des sinkenden Kornes wirkt der Widerstand w entgegen; bei gleichförmiger Bewegung sind beide Kräfte im Gleichgewicht, also:

$$3 \cdot \pi \cdot \varnothing \cdot \eta \cdot v_s = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot \varnothing^3 \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \tag{4}$$

Demnach ist die Sinkgeschwindigkeit:

$$v_s = \frac{1}{18} \cdot \varnothing^2 \cdot \frac{(\gamma_1 - \gamma_2)}{\eta} \tag{5}$$

Formel von Stokes.

Diese Formel gilt, streng genommen, nur für kugelförmige Teilchen bei absolut laminarer Strömung, nach *Prandtl* nur für Reynoldsche Zahlen $R_e < 0{,}5$. Ihr Gültigkeitsbereich ist also sehr begrenzt und höchstens bis zu einem Korndurchmesser 0,05 mm anwendbar. *Oseen*[2] hat die Stokes'sche Gleichung durch die Einführung eines Korrektionsgliedes verallgemeinert. Sein Ansatz, der übrigens für kleine Korndurchmesser in die Stokes'sche Gleichung übergeht, lautet:

$$w = 3 \cdot \pi \cdot \varnothing \cdot \eta \cdot v_s \Big(1 + \underbrace{\frac{3 \cdot \gamma_2 \cdot \varnothing}{16 \cdot \eta \cdot g} v_s}_{\text{Oseen'sches Korrektionsglied}}\Big) = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot \varnothing^3 \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \tag{6}$$

Nach v_s aufgelöst und nach Einführung des Begriffes der kinematischen Zähigkeit ν:

$$\nu = \frac{\eta \cdot g}{\gamma_2} \qquad [\nu] = \text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1} \tag{7}$$

erhält man die Stokes-Oseen'sche Formel:

$$v_s = \frac{8}{3}\left[\sqrt{\left(\frac{\nu}{g}\right)^2 + \frac{1}{24}\,\frac{(\gamma_1 - \gamma_2)}{\gamma_2} \cdot \varnothing \cdot g} - \left(\frac{\nu}{g}\right)\right] \tag{8}$$

Umgekehrt, nach $\varnothing$ aufgelöst liefert (8):

$$\varnothing = \frac{\frac{27}{16} \cdot v_s^2 + \sqrt{\left(\frac{27}{16}\right)^2 \cdot v_s^4 + 18\left(\frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2}\right) \cdot g \cdot \nu \cdot v_s}}{\left(\frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2}\right) \cdot g} \tag{9}$$

Für sehr kleine Geschwindigkeiten v_s geht die Oseen'sche Gleichung in die Stokes'sche über, da wir v_s^2 gegenüber $\sqrt{v_s}$ vernachlässigen können. Gleichung (9) lautet alsdann:

$$\varnothing = \frac{\sqrt{18\left(\frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2}\right) \cdot g \cdot \nu \cdot v_s}}{\left(\frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2}\right) \cdot g} \tag{9a}$$

oder nach v_s aufgelöst:

$$v_s = \frac{1}{18} \cdot \varnothing^2 \cdot \left(\frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_2}\right) \cdot \frac{g}{\nu} = \frac{1}{18} \cdot \varnothing^2 \cdot \frac{(\gamma_1 - \gamma_2)}{\eta}$$

entsprechend Gleichung (5).

Für die Zähigkeit reinen Wassers wurde von *Poiseuille* folgende Beziehung empirisch ermittelt:

$$\eta = \frac{0{,}00001814}{1 + 0{,}0337 \cdot t + 0.00022 \cdot t^2}$$

in der t die Temperatur in ° C bedeutet.

Beispiel: $t = 10°\ C$ $\quad \eta = 0{,}0000133\ \text{gr} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}$
$\nu = 0{,}013\ \text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$

Für Abwasser lässt sich keine solche Beziehung ableiten, weil die Viskosität von der Konzentration des betreffenden Abwassers abhängt, diese aber grossen Schwankungen unterworfen ist. Will man also die Stokes-Oseensche Gleichung auf Abwasserverhältnisse übertragen, so muss die Zähigkeit von Fall zu Fall gemessen werden. Eigene Viskositätsmessungen in Abwasser haben bei 10° C Zähigkeitszahlen zwischen 1,36—1,43 Centi-poisen (1 Poise = 1 g · cm^{-1} · sec^{-1} im abs. Mass-System) ergeben, oder umgerechnet auf das technische Mass-System:

$$\eta = 0{,}0000139 \div 0{,}0000146 \cdot \text{gr} \cdot \text{cm}^{-2}\ \text{sec}$$

Die entsprechenden Werte für die kinematische Zähigkeit betragen dann:

$$\nu = 0{,}0136 \div 0{,}0143 \cdot \text{cm}^2\ \text{sec}^{-1}$$

Wir wollen nun unter der Annahme einer mittleren kinematischen Zähigkeit $\nu = 0{,}014\ \text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ an Hand der Oseen'schen Gleichung (8) die Sinkgeschwindigkeit v_s für verschiedene Korndurchmesser errechnen und die erhaltenen Werte zu den Messungen von *Fair* in Beziehung bringen (siehe Abb. 1).

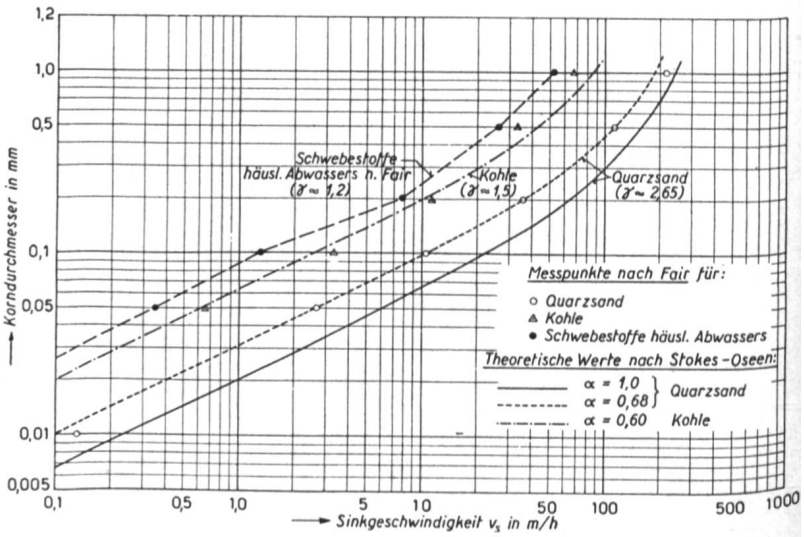

Abb. 1 Sinkgeschwindigkeit v_s in Funktion des Korndurchmessers für verschiedene Materialien.

(Fortsetzung folgt)

[2] *C. W. Oseen*, Ark. Mat. Astrom. Fys. 6, Nr. 29, 1910, 7, Nr. 9—12, 1911, Nr. 16, 1913.