Beitrag zur Frage der Schlammeindickung

*Bericht über die vom Tiefbauamt der Stadt Zürich in den Jahren 1950 und 1951
durchgeführten Schlammeindickungsversuche*

Von Dipl.-Ing. A. HÖRLER

Chef der technischen Abteilung der EAWAG

Mitteilung Nr. 133 der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung
und Gewässerschutz der ETH, Zürich. Direktor: Prof. Dr. O. JAAG

Manuskript eingegangen am 7. Oktober 1957

1. Zweck der Versuche

Bei der Projektierung von Abwasserreinigungsanlagen stellt sich immer wieder die Frage nach der zweckmässigsten Schlammabeseitigung. Neben dem Frischschlamm aus den Absetzbecken wird heute in der Regel auch der überschüssige Schlamm aus dem biologischen Teil der Abwasserreinigungsanlagen in Faulräumen ausgefault. Das Volumen des Überschussschlammes aus den Belebtschlammanlagen beträgt oft ein Vielfaches desjenigen des Frischschlammes. Um nicht unwirtschaftlich grosse Faulräume erstellen zu müssen, wird der Überschussschlamm nicht direkt von den Nachklärbecken in die Faulräume verfrachtet, sondern vorerst auf irgendeine Weise eingedickt. Dies kann nach dem von IMHOFF vorgeschlagenen Verfahren erfolgen durch Einleitung des Überschussschlammes in den Zulauf zum Absetzbecken. Dabei setzt sich der biologische Überschussschlamm gemeinsam mit dem Frischschlamm oder Primärschlamm im Absetzbecken ab und dickt sich dort beim Stehenlassen ein, oder es kann die Eindickung des Schlammes in eigenen Bauwerken erfolgen. Für diese Eindickungsvorrichtungen ist die Kenntnis der gesamten täglich zu behandelnden Schlammmenge wesentlich, ferner die Eindickungsdauer, um feststellen zu können, ob täglich nur mit einem einschichtigen oder unter Umständen mit einem zwei- oder mehrschichtigen Eindickungsbetrieb gerechnet werden kann, sofern nicht eine Eindickung im Durchlaufbetrieb in Frage kommt. Die Grösse der Faulräume ist abhängig vom Mass der

Eindickungsmöglichkeit des Schlammes. Dabei ist zum voraus nicht ohne weiteres klar, ob es zweckmässig ist, nur den äusserst voluminösen, wasserreichen Überschußschlamm der biologischen Reinigungsstufe für sich allein einzudicken, oder ob eine erfolgreichere Eindickung erhalten wird, wenn zuerst der Primärschlamm mit dem Überschußschlamm, evtl. dem Faulschlamm (ausgefauter Schlamm), vermengt und die Schlamm-mischung eingedickt wird.

Das Tiefbauamt der Stadt Zürich hat vom November 1950 bis Oktober 1951 Versuche durchgeführt, die eine Abklärung der oben aufgeworfenen Fragen für die Verhältnisse der Stadt Zürich bezweckten. An Schlamm stand zur Verfügung:

Frischschlamm (Primärschlamm) aus der mechanischen Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich, der entsprechend den in der Grob- und Feinklärung anfallenden Schlammengen verhältnismässig gemischt wurde.

Überschußschlamm (Belebtschlamm) aus der Versuchsanlage der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der ETH (EAWAG).

Faulschlamm aus den überlasteten Faulräumen der Kläranlage Werdhölzli (vorerst wird nur Primärschlamm ausgefaut).

Abbildung 1
Versuchsanordnung.

Abbildung 2

Eindickung von Überschußschlamm aus biologischer Vollreinigungsanlage allein
(Versuche vom November 1950).

Abbildung 3

Eindickung von Überschußschlamm aus biologischer Vollreinigungsanlage allein
(Versuche vom Dezember 1950).

2. Versuchsanordnung

Versuchsergebnisse wurden in zwei Richtungen angestrebt:

1. Durch Verwendung verschiedener Schlammisierungen.
2. Durch Vergleich mit verschiedenen Eindickungsmassnahmen (mit und ohne Rührwerk, mit und ohne Zugabe von Chlor).

Aus diesem Grunde mussten Parallelversuche durchgeführt werden. Zwei Betonrohre von 80 cm Durchmesser mit Beobachtungsfenstern und Zapfstellen zum Ablassen des Schlammes wurden 90 cm tief mit jeweils gleichen Schlammisierungen gefüllt und während 24 Stunden stehen gelassen (Abb. 1). In einem der beiden Behälter wurde ein Rührwerk aus 2 cm starken Gasrohren eingebaut, das durch langsames Drehen (eine Umdrehung in 54 Sekunden) den Absetz- bzw. Eindickungsvorgang beschleunigte. Das Rührwerk arbeitete in der Regel ebenfalls während 24 Stunden.

3. Versuchsprogramm und Versuchsergebnisse

Versuchsserie A

Zur Eindickung gelangte Überschußschlamm aus einer biologischen Vollreinigungsanlage. Die Belastung der Belebtschlammanlage betrug nach Angaben der EAWAG 7 m³ Abwasser pro Kubikmeter Belüftungsraum und Tag, die Belüftungszeit somit 3,4 Stunden, der Reinigungseffekt, gemessen am 5tägigen biochemischen Sauerstoffbedarf, rund 90%.

1. Mit Belebtschlamm allein (Versuchsserien A1/1 + A1/2)

Der Wassergehalt des Schlammes schwankte zwischen 99,45 und 99,53%. Die beiden Behälter wurden mit je 450 l Überschußschlamm der Belebtschlammanlage gefüllt und je 5 Parallelversuche, ohne und mit Rührwerk, von 8–24 Stunden Eindickungszeit durchgeführt.

Die Versuchsergebnisse sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt. Das Absinken des Schlammspiegels mit zunehmender Eindickungszeit ist aus den angegebenen Kurven deutlich erkennbar (Schlammtiefe bei Beginn der Versuche zur Zeit 0 stets 90 cm). Ebenso geht hervor, dass mit dem Rührwerk eine bedeutend raschere und bei den verschiedenen Versuchen gleichmässigere Eindickung erzielt werden kann als durch blosses Stehenlassen des Schlammes allein.

Zur Kontrolle wurde auch der Wassergehalt des eingedickten Schlammes durch Analysen bestimmt. Der Vergleich mit dem aus den Beob-

achtungszahlen errechneten Wassergehalt nach der Eindickung war wenig befriedigend. Da in der Praxis die über dem eingedickten Schlamm befindliche Wassersäule rein visuell festgestellt wird, hat man sich bei den letzten Versuchen mit der Messung der eingedickten Schichtdicke und mit der Berechnung des theoretischen Wassergehaltes des eingedickten Schlammes aus dem ursprünglichen Wassergehalt begnügt.

Wichtig dürfte die Feststellung sein, dass der Eindickungsvorgang mit Rührwerk praktisch in 4–6 Stunden vollendet war, während beim blossen Stehenlassen des Schlammes auch nach 12 Stunden Eindickungszeit noch eine deutliche Abnahme des Schlammvolumens festgestellt werden konnte. Bei der Anordnung mit Rührwerk war eine Eindickung auf etwa $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{4}$ der ursprünglichen Schlammmenge innert 6 Stunden möglich, ohne Rührwerk in 6–12 Stunden nur etwa auf die Hälfte.

Der Eindickungsvorgang geht gesetzmässig vor sich. Aus Abbildung 2 ist ersichtlich, dass bei dieser Versuchsserie die Schlammeindickung als quadratische Funktion der Eindickungszeit dargestellt werden kann, und zwar sowohl mit als auch ohne Verwendung eines Rührwerkes. Aus den Versuchen vom 1., 2., 7., 21. und 22. November 1950 geht hervor, dass die Eindickungskurve angenähert folgender Gleichung gehorcht:

$$\left(\frac{H}{h}\right)^2 = 1 + aT,$$

wobei H ursprüngliche Stärke der Schlammschicht; h Höhe der Schlammschicht nach T Stunden Eindickungszeit; a Beiwert.

Der Beiwert a ist in erster Linie abhängig von der Eindickungsart. Für vorliegende Versuchsserie betrug a bei blossen Stehenlassen des Schlammes 0,3, bei Umrühren mit dem Rührwerk 1,5. Die entsprechenden theoretischen Kurven sind in der Abbildung 2 eingetragen.

Erwähnt sei noch, dass die Schlammeindickung den gleichen Gesetzen gehorcht wie die aus dem Erdbau bekannte Setzung von Gebäuden über Tonschichten.

Nach $4\frac{1}{4}$, $8\frac{1}{4}$ bzw. $23\frac{3}{4}$ Stunden Eindickungszeit wurde eine Eindickung auf folgende Werte in Prozent der ursprünglichen Schlammengen erzielt, wobei s^2 die Wurzel aus der Streuung

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2,$$

bedeutet (x_i beobachtete Einzelwerte und $\bar{x}$ Durchschnitt der Einzelwerte).

¹⁾ Erklärung im Fuss der Tabelle 1.

Tabelle 1

Eindickung auf Prozente des ursprünglichen Schlammvolumens

Eindickungszeit	4 ¼ h		8 ¼ h		23 ¾ h	
	mit Rührwerk	ohne Rührwerk	mit Rührwerk	ohne Rührwerk	mit Rührwerk	ohne Rührwerk
Serie A 1/1,,						
Nov. 1950 . . .	33,3	67,4	25,5	52,2	22,2	34,2
s ¹⁾	± 2,5	± 7,0	± 2,3	± 10,0	± 2,0	± 1,8
Serie A 1/2,						
Dez. 1950 . . .	25,8	53,9	22,3	44,4	18,9	31,5
s ¹⁾	± 3,6	± 15,3	± 2,0	± 15,1	± 2,4	± 9,0
¹⁾ Die s-Werte in Prozent sind zu den Prozentzahlen des eingedickten Schlammes zu addieren bzw. von ihnen zu subtrahieren.						

Das Resultat dieser Versuchsreihen, die in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt sind, kann wie folgt zusammengefasst werden:

Die Eindickung mit Rührwerk geht stets erheblich rascher vor sich als beim blossen Stehenlassen des Schlammes. Bis zu Eindickungszeiten von 8 Stunden kann bei Inbetriebnahme des Rührwerkes etwa eine doppelt so starke Eindickung erzielt werden als ohne Rührwerk. Für längere Eindickungszeiten nimmt der Unterschied ab. Weiter ist festzustellen, dass fast durchweg die Streuung der Versuchsergebnisse erheblich geringer ist beim Eindicken mit Rührwerk als ohne.

2. Belebtschlamm aus Vollreinigung + primärer Schlamm

a) *Versuchsserie A2.* Aus den Versuchen ohne Beimischung von Primärschlamm oder Frischschlamm aus der Vorreinigung ging hervor, dass sich Belebtschlamm aus der Vollreinigung allein von einem Wassergehalt von 99,5% nur auf etwa 97,5–98,5% Wassergehalt mit den beschriebenen Methoden eindicken liess. Es stellte sich deshalb die Frage, ob mit Beimischung von Frischschlamm zum Belebtschlamm günstigere Eindickungswerte erzielt werden können, weshalb in einer weiteren Versuchsserie (Abb. 4) Parallelversuche mit und ohne Rührwerk auch unter Beimischung von Frischschlamm zum Belebtschlamm durchgeführt wurden.

Als Ergebnis dieser Versuche ist festzustellen, dass die Eindickung des Schlammes ganz allgemein rascher erfolgt ist als bei den Versuchsserien

Abbildung 4

Eindickung von primärem Schlamm und Überschussschlamm aus Vollreinigung in äquivalenten Mengen.

mit Belebtschlamm allein. Hingegen war auch in dieser Versuchsserie nur eine Eindickung auf $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{4}$ des ursprünglichen Volumens möglich.

Dass trotzdem eine Volumenreduktion gegenüber einer Eindickung von Belebtschlamm allein erzielt werden kann, ergeben die nachfolgenden Überlegungen bzw. Berechnungen.

Nach Erstellung der biologischen Reinigung für die Stadt Zürich dürfte etwa mit folgendem Schlammanfall zu rechnen sein (pro Einwohner und Tag):

Tabelle 2

g = Gramm; E = Einwohner; T = Tag.

	Wassergehalt % (a)	Trockensubstanz		Schlammanfall $l/E\ T$ (d)
		% (b)	$g/E\ T$ (c)	
Primärer Schlamm (sogenannter Frischschlamm) . .	94,0	6,0	72	$1,2 = \frac{(c)}{(b)} \cdot \frac{1}{10}$
Belebtschlamm (Überschuss- schlamm)	99,5	0,5	48	$9,6 = \frac{(c)}{(b)} \cdot \frac{1}{10}$
Total	98,9	$1,1 = \frac{(c)}{(d)} \cdot \frac{1}{10}$	120	$10,8 = \frac{(c)}{(b)} \cdot \frac{1}{10}$

Die Behälter wurden mit je 400 l Belebtschlamm und 50 l primärem Schlamm, entsprechend dem Mischungsverhältnis 9,6 l/ET:1,2 l/ET, gefüllt und wie vorher die Schlammeindickung ohne und mit Rührwerk beobachtet (vgl. Abb.4). Der tatsächliche Wassergehalt vor dem Versuch betrug beim primären Schlamm 94,08–94,65%, beim Belebtschlamm 99,5 bis 99,55%.

Die Mittelwerte der sechs Untersuchungen sind in nachfolgender Tabelle 3 zusammengestellt, wobei s^1) wieder die Wurzel aus der Streuung

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

bedeutet:

Tabelle 3

Eindickung auf Prozente des ursprünglichen Schlammvolumens (Mittelwerte)

Eindickungszeit	4 h		8 h		24 h	
	mit Rührwerk	ohne Rührwerk	mit Rührwerk	ohne Rührwerk	mit Rührwerk	ohne Rührwerk
Serie A 2 8. bis 10. Nov. 1950 1. bis 3. Dez. 1950 s^1)	29,9 ± 6,2	49,8 ± 6,1	26,8 ± 4,3	42,0 ± 4,5	25,6 ± 2,9	30,6 ± 2,9
¹) Die Prozentzahlen von s sind zu den Prozentzahlen des eingedickten Schlammes zu addieren bzw. von ihnen zu subtrahieren.						

Aus einem Vergleich der Tabelle 1 mit der Tabelle 3 ist ersichtlich, dass sich nach einer 4stündigen Eindickungszeit mit Rührwerk das Schlammvolumen sowohl bei der Versuchsserie A1 als auch bei A2 auf rund 30% reduzieren liess. Es stellt sich nun die Frage, ob es sich unter diesen Umständen überhaupt lohnt, den Frischschlamm zusammen mit dem Belebtschlamm einzudicken oder ob es nicht zweckmässiger wäre, nur den Belebtschlamm dem Eindickungsbecken zuzuführen. Folgende Überlegung gibt auf diese Frage Antwort:

Der Schlammanfall pro Einwohner (E) und Tag (T) beträgt auf Grund der Erhebungen in der Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich (nach Tabelle 2) 10,8 l/ET mit 120 g/ET Trockensubstanz bei 98,9% Wassergehalt (WG).

Wird gemäss Versuchsserie A1 nur der Belebtschlamm allein eingedickt, so reduziert sich das gesamte Schlammvolumen gemäss Tabelle 4 auf 4,1 l/ET.

Tabelle 4

*Schlammvolumen pro Einwohner und Tag
(uneingedickter Frischschlamm und eingedickter Belebtschlamm)*

Frischschlamm oder Primärschlamm mit 6,0% = 72 g/ET Trockensubstanz Belebtschlamm oder Sekundärschlamm mit 0,5%/30% = 1,67% = 48 g/ET Trockensubstanz	1,2 l/ET 2,9 l/ET
Total als Mischschlamm: Mit 2,94% bzw. 120 g/ET . .	4,1 l/ET

Falls nach Versuchsserie A2 Frischschlamm und Belebtschlamm zur Eindickung gelangen, reduziert sich das Schlammvolumen auf 30% von 10,8 l/ET = 3,25 l/ET.

Das Volumen des gemischten Schlammes vor der Eindickung mit 98,9% Wassergehalt und 10,8 l/ET Schlammvolumen (= 100%) reduziert sich bei Eindickung des Belebtschlammes allein zu einem Schlamm von 97,06% Wassergehalt und 4,1 l/ET Volumen, das heisst auf 38% bzw. bei gemeinsamer Eindickung des gemischten Schlammes zu einem Schlamm von 96,3% Wassergehalt und 3,25 l/ET, das heisst auf 30% seines ursprünglichen Volumens. Bei Eindickung des gemischten Schlammes gegenüber der Eindickung des Belebtschlammes allein kann somit eine Volumenverminderung auf 3,25 l/ET statt 4,1 l/ET erzielt werden, obgleich in beiden Fällen eine Eindickung durch Rühren auf 30% des ursprünglichen Schlammvolumens möglich ist. Aus dieser Überlegung ergibt sich, dass stets der Primärschlamm mit dem Belebtschlamm gemischt eingedickt werden sollte, sofern beide Schlämme miteinander ausgefault oder einer andern, gemeinsamen Behandlung zugeführt werden sollen.

b) *Versuchsserie A2**. Etappenweise Eindickung: 1. Etappe ohne Rühren, 2. Etappe mit Rühren.

Da die Eindickungsversuche zeigten, dass durch mechanische Eindickung der Schlamm stets auf $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ seines ursprünglichen Volumens eingedickt werden konnte, stellte sich die Frage, ob unter Umständen eine weitergehende Eindickung dadurch bewerkstelligt werden könnte, wenn zuerst der Schlamm während 8 Stunden einer normalen Schwerkrafteindickung ausgesetzt würde und erst dann eine zusätzliche Eindickung

Rührwerkeinsatzes nach 8 Stunden ist aus den Kurven deutlich ersichtlich. Der Wassergehalt des eingebrachten Überschußschlammes schwankte zwischen 99,36 und 99,53%, derjenige des Primärschlammes zwischen 93,4 und 95,2%. Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 5 als Mittelwerte zusammengestellt.

Aus der Versuchsserie A2* ist ersichtlich, dass keine Vorteile zu erwarten sind, wenn vorerst der Schlamm im Eindickungsbehälter sich selbst überlassen und erst in einem späteren Zeitpunkt das Rührwerk in Gang gesetzt wird.

c) Versuchsserie A3. Belebtschlamm aus Vollreinigung + $\frac{2}{3}$ primärer Schlamm.

Zur Klarstellung des Einflusses der zum Belebtschlamm beigefügten Menge an primärem Schlamm für die Eindickung war geplant, in einer Versuchsserie A3 zum Überschußschlamm aus der Vollreinigung (415 l) nur $\frac{2}{3}$ des gesamten Primärschlammes (35 l) beizumischen, in einer Versuchsserie A4 nur $\frac{1}{3}$ des Primärschlammes. Da aus der Versuchsserie A3 und den bereits erwähnten Berechnungen hervorging, dass eine Mischung des Überschußschlammes mit der ganzen anfallenden Primärschlammmenge am vorteilhaftesten ist, sofern eine gemeinsame Ausfäulung im Faulraum in Frage kommt, wurde auf die Durchführung der Versuchsserie A4 ver-

Abbildung 6

Eindickung einer reduzierten Menge ($\frac{2}{3}$) Primärschlamm und der vollen Menge Überschußschlamm aus Vollreinigung.

zichtet. Trotzdem die Ergebnisse der Versuchsserie A₃ keine neuen Gesichtspunkte ergaben, sollen die Versuchsergebnisse nicht vorenthalten werden, da diese sehr eindeutig die Wirkung des Rührwerkes erkennen lassen (Abb. 6). Der Wassergehalt des Überschußschlammes variierte zwischen 99,40 und 99,54%, derjenige des Primärschlammes zwischen 93,9 und 94,5%.

Über die Resultate der Mittelwerte der Eindickung samt Streuungen aus 4 Untersuchungspaaren gibt Tabelle 6 Auskunft.

Tabelle 6

Eindickung auf Prozente des ursprünglichen Schlammvolumens (Mittelwerte)

Eindickungszeit	4 h		8 h		24 h	
	mit Rührwerk	ohne Rührwerk	mit Rührwerk	ohne Rührwerk	mit Rührwerk	ohne Rührwerk
Serie A 3 vom 11., 12., 13. und 14. Nov. 1950 s ¹⁾	35,6 ± 3,4	67,4 ± 5,8	30,6 ± 2,8	56,1 ± 5,3	28,1 ± 3,4	40,4 ± 4,2
1) Die s-Werte in Prozent sind zu den Mittelwerten in Prozent zu addieren bzw. zu subtrahieren.						

d) *Versuchsserie A₅*. Belebtschlamm (Überschußschlamm) aus Vollreinigung + ausgefauter Schlamm.

Aus der Überlegung heraus, dass ausgefauter Schlamm bereits weitgehend mineralisiert ist und ein höheres spezifisches Gewicht aufweist als der Frischschlamm, wurden auch Versuche über die Eindickung von Belebtschlamm (400 l) + ausgefautem Schlamm (50 l) durchgeführt, in der Meinung, dass der schwere Faulschlamm eine vermehrte Eindickung des Belebtschlammes zur Folge haben könnte. Der Überschußschlamm wies für die drei Versuchsserien einen Wassergehalt von 99,13–99,42% auf, der ausgefauter Schlamm von 89,3–89,6%. Das Resultat der Eindickungsversuche geht aus Abbildung 7 hervor. Daraus ist ersichtlich, dass wohl wieder ein Unterschied zwischen der Eindickung ohne und mit Rührwerk festgestellt werden konnte, dass jedoch die Schlammeindickung mit Rührwerk weniger rasch vor sich ging als bei der Zugabe von Frischschlamm. Zudem war die über dem Schlamm Spiegel stehende Flüssigkeit trübe und

Abbildung 7

Eindickung von ausgefaultem Primärschlamm mit Überschussschlamm aus Vollreinigung.

mit Schwimmschlammfladen verschmutzt. Da zudem betriebstechnisch keine Vorteile zu erwarten wären – der ausgefaulte Schlamm müsste im Faulraum wieder aufgeheizt werden und würde nur zusätzliches Faulraumvolumen beanspruchen –, wurde auf die Weiterverfolgung dieser Versuche verzichtet. Es wird deshalb auch davon abgesehen, die Versuchsergebnisse einzeln in ausgewerteter Form wiederzugeben.

Versuchsserie B

Im Monat März 1951 wurde eine weitere Versuchsserie durchgeführt. Der Schlamm, der damals als Überschussschlamm von der Versuchsanlage zur Verfügung stand, entstammte einem Teilreinigungsbetrieb. Am 21. bzw. 22. März gelangte je ein Versuchspaar mit und ohne Rührwerkeindickung für den Teilreinigungsschlamm allein zur Durchführung, am 23. bzw. 24. März je ein Versuchspaar mit einem Mischschlamm, bestehend aus 1 Teil Frischschlamm und 8 Teilen Überschussschlamm. Der Frischschlamm oder primäre Schlamm wies einen Wassergehalt von 94,5 bis 94,8% auf, der Überschussschlamm einen solchen von 99,33 bis 99,55%. Trotzdem der Belebtschlamm bezüglich des Wassergehalts sich vom Vollreinigungsschlamm nicht unterschied, waren die Eindickungseffekte so-

Tabelle 7b
Eindickung von Frischschlamm und Überschußschlamm

Eindickungszeit	4 h		8 h		24 h	
	mit Rührwerk	ohne Rührwerk	mit Rührwerk	ohne Rührwerk	mit Rührwerk	ohne Rührwerk
Serie B2 vom 23. und 24. März 1951 s) ¹	16,7 ± 0,0	26,7 ± 1,6	16,1 ± 0,8	22,8 ± 0,8	15,0 ± 0,8	20% ± 0,0
1) Die s-Werte in Prozent sind zu den Mittelwerten in Prozent zu addieren bzw. zu subtrahieren.						

Aus den Tabellen 7a und 7b ist ersichtlich, dass die Konzentrierung des Schlammes mit Rührwerk wiederum eine raschere Eindickung gewährleistet, als dies ohne Rührwerk der Fall ist. Zudem wurde bei obigen Versuchen mit Zugabe von Frischschlamm und Rührwerk eine vermehrte Eindickung des Frischschlammes (Frischschlamm + Belebtschlamm) gegenüber dem Belebtschlamm allein festgestellt.

Führen wir dieselbe Berechnung durch, wie sie für die Versuchsserie A2 erfolgt ist, so ergibt sich, dass bei einem Mischschlamm ohne Eindickung 1,2 l Frischschlamm + 9,6 l Belebtschlamm = 10,8 l/ET = 100% Schlamm entsteht, während bei Eindickung des Belebtschlammes allein auf rund 20% nach 8 Stunden und Zugabe des eingedickten Überschußschlammes zum uneingedickten Frischschlamm noch mit einem Volumen von 3,12 l Schlamm/ET = 28,8% gerechnet werden muss, gegenüber einem Volumen von 2,16 l Schlamm/ET = 20,0% beim Eindicken beider Schlämme zusammen. Es zeigt sich somit, dass die gemeinsame Eindickung von Frischschlamm + Belebtschlamm auch in diesem Falle vorteilhafter ist als die Eindickung des Belebtschlammes allein.

Versuchsserie C

Aus dem Taschenbuch von IMHOFF (15. Auflage, S. 165) geht hervor, dass zur Eindickung von Schlamm Zusätze von Chlor vorteilhaft sind, und zwar 0,2 bis 0,5 g/ET. Um die Wirkung der Chlorzusätze auszuprobieren, wurden Parallelversuche mit Eindickung von Überschußschlamm allein (ohne Anwendung eines Rührwerkes) mit und ohne Chlorzusatz durch-

Abbildung 10
Einwirkung verschiedener Chlorzugaben auf die Eindickung von belebtem Schlamm
(Parallelversuche).

Tabelle 8b

Eindickung auf Prozent des ursprünglichen Schlammvolumens (Mittelwerte)
Chlorzugabe = 1,4 g/E T bzw. 142 g/m³ Überschußschlamm

Eindickungszeit	4 h		8 h		24 h	
	mit Chlorzugabe	ohne Chlorzugabe	mit Chlorzugabe	ohne Chlorzugabe	mit Chlorzugabe	ohne Chlorzugabe
Serie C2 vom 18., 19. und 21. Mai 1951	49,6	63,6	37,8	49,6	24,5	29,3
s ¹⁾	± 1,7	± 1,3	± 1,9	± 1,7	± 2,2	± 2,2
1) Die s-Werte in Prozent sind zu den Mittelwerten in Prozent zu addieren bzw. zu subtrahieren.						

Diese Mittelwerte sind in Abbildung 10 graphisch dargestellt. Daraus geht hervor, dass in vorliegendem Falle die Schlammwindickung um so besser bzw. rascher vor sich ging, je grösser die Chlorzugabe bemessen wurde. Andere Verbesserungen durch Chlorzugabe konnten nicht festgestellt werden. Da die Verbesserung der Eindickungswirkung durch normale Chlorzugabe für die in Zürich vorliegenden Verhältnisse nicht über-

zeugend ausfiel, so wurde im Erweiterungsprojekt für die Kläranlage Werdhölzli der Stadt Zürich auf eine Chlorzugabe verzichtet.

4. Schlussfolgerungen

1. Eine Eindickung des sehr wasserhaltigen Überschußschlammes aus Belebtschlammanlagen vor dem Pumpen in die Faulräume ist erforderlich, um an Faulraumvolumen und an Faulgas zur Heizung der Faulräume zu sparen.
2. Eine Eindickung des Überschußschlammes kann durch ruhiges Absetzenlassen im Vorklärbecken bzw. in Behältern erfolgen oder in speziellen Eindickungsbecken mit maschinelltem Umrühren. Mit beiden Verfahren erreicht man Eindickungseffekte. Die Eindickung geht mit Rührwerken rascher vor sich. Der praktische Eindickungsvorgang ist statt in 24 Stunden ohne Rührwerk in rund 3–4 Stunden mit Rührwerk beendet. Die Eindickung mit Rührwerken geht zudem gleichmässiger vor sich als ohne. Die Streuungen der einzelnen Versuchsergebnisse sind geringer.
3. Es ist denkbar, dass nur der Überschußschlamm allein eingedickt und dieser, zusammen mit dem Frischschlamm der Vorklärbecken gemischt, in den Faulraum geführt wird. Auf Grund vorstehender Versuche ist es jedoch zweckmässiger, die beiden Schlämme zu mischen und gemeinsam einzudicken.
4. Die Schlammeindickung gehorcht gleichen Gesetzen wie die Setzung von Gebäuden über Tonschichten.
5. Mit einer etappenweisen Eindickung (zuerst ruhiges Stehenlassen des Schlammes und nachherige Inbetriebsetzung des Rührwerkes) können keine besseren Eindickungsergebnisse erzielt werden.
6. Die Zugabe von ausgefaultem Schlamm zum Überschußschlamm zwecks gemeinsamer Eindickung der beiden Schlämme bietet keinerlei Vorteile und ist in betriebstechnischer und ästhetischer Hinsicht abzulehnen.
7. Mit Zugabe von Chlor zum Schlamm konnte eine bessere Eindickung erzielt werden. Die Chlorzugabe erwies sich jedoch bei den vorgenommenen Versuchen für den in Zürich anfallenden Schlamm nicht als notwendig. Es ist wirtschaftlicher, etwas länger maschinell einzudicken, als Chlor zuzusetzen.

8. Der Überschußschlamm wies einen konstanten Wassergehalt von 99,5% auf. Praktisch liess sich nur ein Wassergehalt von 97 bis 98% nach der Eindickung erzielen.
9. Es ist nicht ausgeschlossen, dass sich in tieferen Eindickungsbecken (Schlammtiefen in den Versuchsbecken = 90 cm) bessere Eindickungsergebnisse erzielen lassen. Diesbezügliche Untersuchungen sind in Aussicht genommen.
10. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rührwerkes wurde während sämtlicher Versuche konstant gehalten (~ 1 U/min). Über den Einfluss einer Änderung der Umdrehungsgeschwindigkeiten kann auf Grund der Versuche keine Aussage gemacht werden.
11. Die Beschickung der Eindickungsbecken erfolgte chargenweise. Eine Eindickung im Durchlaufbetrieb wurde nicht vorgenommen.

★ ★

Es ist mir ein Bedürfnis, den Herren K. BRÄM, Betriebsleiter, und FR. JÜNI, Klärmeister der Kläranlagen der Stadt Zürich, für die Beratung bei der Versuchsanordnung sowie für die grosse Arbeit beim Aufbau und während der Durchführung sämtlicher Versuche bestens zu danken.