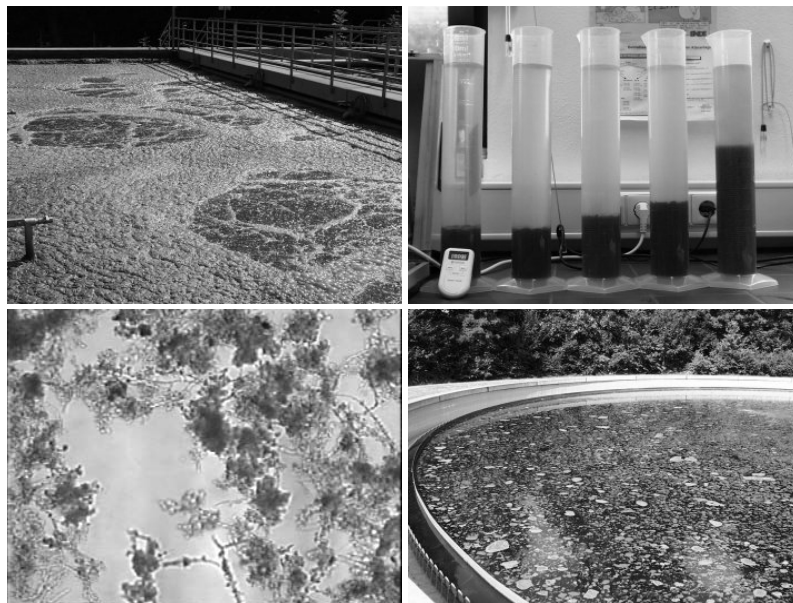


DAS ABSETZVERHALTEN ULTRASCHALLBEHANDELT ER KLÄRSCHLÄMME

Diplomarbeit von Markus Pfeifer



vorgelegt am 13.11.2002

Diplomarbeit zur Erlangung des Grades eines
Diplom-Ingenieurs an der Fachhochschule Augsburg

betreut von
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schulz

Markus Pfeifer
Matrikel-Nr. 698538

Inhaltsübersicht

Kurzfassung	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungen und Formelzeichen	7
1 Einführung	8
2 Grundlagen	12
3 Versuchserläuterung	16
4 Versuchsauswertung	25
5 Diskussion der Versuchsdurchführung und –ergebnisse	40
6 Schlussfolgerung	45
7 Erklärung	51
8 Literaturverzeichnis	52
9 Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Diagramme	54
Anhang A: Liste der Kläranlagen	56
Anhang B: Chemische Analyse	57
Anhang C: Zeitlicher Ablauf der Absetzversuche	58
Anhang D: Versuchsprotokoll	60
Anhang E: Messwerttabelle	64
Anhang F: Absetzkurven	66

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Forschungsreihe der Fachhochschule Augsburg zum Themenkomplex „Ultraschallbehandlung von Klärschlamm“ fortgesetzt.

Ziel dieser Forschungsarbeit ist die Untersuchung des Absetzverhaltens von Belebtschlämmen, die mit Ultraschall behandelt wurden. Die bei den vorangegangenen Projekten durchgeführten Versuche haben unter anderem die Vermutung aufgestellt, dass sich die Absetzeigenschaften von ultraschallbehandelten Belebtschlämmen, dabei besonders von Bläh- bzw. Schwimmschlämmen, durchaus stark verbessern.

Dazu wurden auf insgesamt zehn Abwasserreinigungsanlagen im Raum Dillingen – Günzburg – Augsburg 16 Versuchsreihen als Laborversuch durchgeführt. Als Grundlage diente dazu der Absetzversuch zur Ermittlung der Kenngrößen belebten Schlammes nach DIN 38414.

Für die Untersuchung speziell zur Änderung der Absetzeigenschaften von Bläh- und Schwimmschlamm erwies sich der für die Forschungsarbeit zur Verfügung stehende Zeitraum, Mai bis November 2002, als schlecht geeignet. Während der Versuchsdurchführung auf den Kläranlagen Ende Juli und im August hatte keine der Abwasserreinigungsanlagen Probleme mit aufschwimmendem Schlamm. Nach Aussagen des Personals der Anlagen treten aber bei fast allen derartige Probleme vor allem beim Temperaturwechsel im Frühjahr oder Herbst oder auch in den Wintermonaten auf.

Dennoch konnten aus den durchgeführten Versuchen Erkenntnisse über das Absetzverhalten gewonnen werden. Bei Schlämmen mit höherem Schlammindex wurde eine Verbesserung des Absetzverhaltens festgestellt. Vorhandene Fadenstrukturen in und zwischen den Schlammflocken werden durch die Ultraschallbehandlung weitgehend zerstört. Bei bereits gut absetzbaren Schlämmen konnte kein Verbesserungseffekt erzielt werden, es trat z. T. sogar eine geringe Verschlechterung des Absetzverhaltens ein.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungen und Formelzeichen	7
1 Einführung	8
1.1 Situation der Klärschlammverwertung	8
1.2 Möglichkeiten der Klärschlammreduktion	9
1.3 Aufgabenstellung der Diplomarbeit	11
2 Grundlagen	12
2.1 Biologische Abwasserreinigung	12
2.2 Bläh- und Schwimmschlammproblematik	14
2.3 Wirkung von Ultraschall in Flüssigkeiten	15
3 Versuchserläuterung	16
3.1 Versuchsgeschichten	16
3.2 Versuchsaufbau	17
3.3 Probenahme	17
3.4 Ermittlung der Kenngrößen für Belebtschlamm	19
3.4.1 Schlammvolumenanteil φ_S	19
3.4.2 Trockensubstanzgehalt β_T	20
3.4.3 Schlammindex I_{SV}	21
3.4.4 Aufschwimmender Schlammvolumenanteil	21
3.4.5 Mikroskopisches Bild des Klärschlammes	22

3.5	Wahl der Beschallungszeiten	22
3.6	Versuchsdurchführung	24
4	Versuchsauswertung	25
4.1	Untersuchte Abwasserreinigungsanlagen	25
4.2	Versuchsergebnisse	26
4.2.1	Quantitativer Überblick	26
4.2.2	Kläranlagen mit einem Schlammindex >70 ml/g	28
4.2.3	Kläranlagen mit einem Schlammindex < 70 ml/g	31
4.3	Auswertung des mikroskopischen Bildes	33
4.4	Analyse des Überstandswassers	35
4.5	Mathematische Beschreibung der Absetzkurven	37
5	Diskussion der Versuchsdurchführung und –ergebnisse	40
5.1	Auswahl der Abwasserreinigungsanlagen	40
5.2	Auswahl der Beschallungszeiten	40
5.3	Auswahl der Probenahmestelle	41
5.4	Verbesserung des Absetzverhaltens	41
5.5	Mikroskopisches Bild	43
5.6	Chemische Analyse des Überstandswassers	43
5.7	Versuch der mathematischen Beschreibung der Absetzkurven	44
6	Schlussfolgerung	45
6.1	Einsatz der Ultraschallbehandlung	45
6.2	Einsatzort der Ultraschallbehandlung	46

6.3	Verbesserung des Entwässerungsverhaltens	49
7	Erklärung	51
8	Literaturverzeichnis	52
9	Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Diagramme	54
9.1	Abbildungsverzeichnis	54
9.2	Tabellenverzeichnis	55
9.3	Diagrammverzeichnis	55
Anhang A: Liste der Kläranlagen		56
Anhang B: Chemische Analyse		57
Anhang C: Zeitlicher Ablauf der Absetzversuche		58
Anhang D: Versuchsprotokoll		60
Anhang E: Messwerttabelle		64
Anhang F: Absetzkurven		66

Abkürzungen und Formelzeichen

TS	Trockensubstanz
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
NO ₂ -N	Nitrit-Stickstoff
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
N _{Ges}	Gesamt-Stickstoff als Summe aus NO ₃ -N, NO ₂ -N und NH ₄ -N
PO ₄ P	Phosphat-Phosphor
P _{Ges}	Gesamt-Phosphor in Form von PO ₄ P
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffverbrauch in 5 Tagen
EW	Einwohnerwerte

φ_S	Schlammvolumenanteil: Überprüfung der Absetzfähigkeit des belebten Schlamms
φ_S behandelt	Schlammvolumenanteil des behandelten Belebtschlamm
φ_S unbeh.	Schlammvolumenanteil aus dem Absetzversuch des unbehandelten Belebtschlammes
t	Absetzzeit
I _{SV}	Schlammindex: Dient als Vergleichsbasis der Belebtschlämme unterschiedlicher Abwasserreinigungsanlagen
I _{SV} eigen	Der bei den unverdünnt durchgeführten Versuchen nach ATV-Vorgabe bestimmte Schlammindex
I _{SV} ARA	Der auf durch die Abwasserreinigungsanlage nach ATV-Vorgabe ermittelte Schlammindex
β_T	Trockensubstanzgehalt
m _A	Masse einer Schlammprobe zu Beginn des Verdampfungsprozesses der TS-Bestimmung
m _E	Masse einer Schlammprobe am Ende des Verdampfungsprozesses der TS-Bestimmung
m _W	Masse des verdampften Wassers bei der TS-Bestimmung
ρ	Dichte, hier Dichte von Wasser: 1000g/l
V _W	Volumen des verdampften Wassers in flüssigem Zustand
AVA	Aufschwimmender Schlammvolumenanteil: Anteil des beim Absetzversuch im Absetzzyylinder aufgeschwommenen Schlammvolumens
V _{auf}	Volumen des aufgeschwommenen Schlamms
V _{sed}	Volumen des sedimentierten Schlamms

1 Einführung

1.1 Situation der Klärschlammverwertung

Seit der BSE-Krise im Herbst 2000 ist die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen gesellschaftlich und politisch sehr stark in der Diskussion. Eine mögliche Gefährdung durch die Übertragung von BSE-Erregern mit dem Klärschlamm in die Umwelt und damit in die Nahrungskette kann aufgrund mangelnden Fachwissens um Persistenz, Übertragbarkeit und Verhalten in der Umwelt nicht ausgeschlossen werden.

In der Diskussion stehen auch weiterhin der Eintrag vor allem von Schwermetallen, organischen Schadstoffen (Dioxine, Furane, PCB) und neu auch der Eintrag endokriner Substanzen mit dem Klärschlamm in die Umwelt.

Allein in Bayern werden jährlich in etwa 3.000 Abwasserreinigungsanlagen ca. 1,75 Milliarden m³ Schmutzwasser gereinigt, wobei ca. 292.000 Mg an Klärschlamm anfallen. 47,2 % davon wurden landwirtschaftlich verwertet. 4,8 % wurden der Deponierung, 29,2 % der thermischen Behandlung und 15,7 % der sonstigen Verwertung (Kompostierung, Vergärung, Düngeraufbereitung, Rekultivierung) zugeführt. Die restlichen 3,1 % wurden zwischengelagert.

Diese momentan übliche Entsorgungsstruktur wird sich in den kommenden Jahren stark verändern. Ab dem Jahr 2005 wird aufgrund der Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV, 2001) eine Deponierung von unbehandeltem Klärschlamm nicht mehr zulässig sein. Die AbfAbIV schreibt vor, dass Abfälle zur Deponierung nur noch 5 % organische Trockensubstanz enthalten dürfen. Klärschlämme mit einem organischen Trockensubstanzgehalt von 50 % müssen deshalb vorher behandelt werden.

Des weiteren fordert der Freistaat Bayern im Rahmen einer Bundesratsinitiative ein Verbot der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm, was aber abgelehnt worden ist. Die Europäische Union hat nun eine Klärschlammrichtlinie in Vorbereitung, die zumindest die Grenzwerte für eine Ausbringung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen vorsieht.

Dadurch ist zu erwarten, dass in Zukunft weniger Klärschlamm landwirtschaftlich verwertet werden wird und auch die Deponierung fällt als kostengünstige Variante der Klärschlamm Entsorgung nach in Kraft treten der AbfAbIV weg. Demnach wird die Mono- bzw. Mitverbrennung von Klärschlämmen stark zunehmen. Eine aufwändigere Schlammbehandlung wird notwendig (Entwässerung, Trocknung) und somit kommen steigende Kosten auf die Kommunen und Verbände zu.

Um diese Mehrbelastung zu minimieren ist eine Klärschlammreduzierung erforderlich. Eine Verminderung des Klärschlammanfalls ist auch im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG), in dem die Abfallvermeidung Vorrang vor der Abfallverwertung und diese wiederum Vorrang vor der Abfallentsorgung hat. [Rommel 2002]

1.2 Möglichkeiten der Klärschlammreduktion

Für die Klärschlammreduktion kommen mehrere Verfahren in Frage, die auf mechanischen, thermischen, chemischen oder biologischen Verfahren basieren. Im folgenden wird nur das Verfahren der mechanischen Klärschlamm desintegration näher betrachtet.

Die mechanische Klärschlamm desintegration stellt einen ergänzenden Schritt des Abwasserreinigungsprozesses dar, dessen Ziele je nach Einsatzort innerhalb des Prozesses unterschiedlich sind.

Unter Desintegration versteht man die Zerkleinerung von Klärschlämmen durch die Einwirkung äußerer Kräfte. Die Einwirkung dieser Kräfte führt zu einer Auflösung der Flockenstruktur des Schlammes und zu einem Aufschluss der im Schlamm enthaltenen Mikroorganismen.

Zur mechanischen Klärschlammreduktion können mehrere Verfahren eingesetzt werden. Dazu zählen unter anderem:

- Rührwerkskugelmühlen
- Hochdruckhomogenisatoren
- Hochleistungsimpulstechnik
- Prallstrahlverfahren
- Ultraschallhomogenisatoren/ -desintegratoren

Folgende Effekte können mit der mechanischen Klärschlamm-desintegration erzielt werden:

- Durch die mechanische Klärschlamm-desintegration werden die Zellen der Mikroorganismen im Belebtschlamm zerstört. Die dadurch frei werdenden Zellorganellen liegen dadurch als leicht verfügbares organisches Material vor, welches unerlässlich ist für den Prozess der Denitrifikation (siehe Kapitel 2.1). Damit verringert sich auch gleichzeitig die Menge des auf der Kläranlage anfallenden Überschussschlammes.
- Weiterhin verbessert sich das anaerobe Abbauverhalten von Überschuss- und Faulschlamm. Bei der Behandlung der Schlämme im Faulbehälter wird die Menge an zu entsorgendem Schlamm vermindert, es entsteht mehr Faulgas und die Entwässerbarkeit des Schlammes wird verbessert.
- Die Desintegration verbessert zudem die Absetzeigenschaften von Bläh- und Schwimmschlamm. Die filamentöse Schlammstruktur wird durch die mechanische Zerkleinerung aufgebrochen. Dadurch erhalten die großen Schlammflocken ein besseres Masse-Volumen-Verhältnis und darin enthaltene Gasblasen, die ebenfalls ein Aufschwimmen der Flocken bewirken, werden freigesetzt. Der Schlamm setzt sich schneller ab und nimmt ein geringeres Volumen ein. Der abgesetzte Schlamm hat dadurch einen höheren TS-Gehalt. Dies wirkt sich wiederum positiv auf den Energie- und Flockungsmiteinsatz bei der späteren Schlammmentwässerung aus.

1.3 Aufgabenstellung der Diplomarbeit

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird das mechanische Verfahren der Ultraschall-desintegration näher untersucht. Die Ultraschall-desintegration von Klärschlamm ist eine der neueren Methoden zur Behandlung von Klärschlämmen und die Effekte, die damit erreicht werden sollen sind vielfältig (siehe Kapitel 1.2). Die Ultraschall-desintegration steht im Moment noch am Anfang ihrer Entwicklung. Es gibt erst wenige Anlagen, auf denen dieses Verfahren zum Einsatz kommt und daher besteht noch großer Bedarf an Forschungsarbeit in diesem Bereich.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, das Absetzverhalten ultraschallbehandelter Klärschlämme aus der Belebungsstufe der Abwasserreinigungsanlage zu untersuchen. Dabei sollen sowohl Erkenntnisse über die Absetzeigenschaften von Schlämmen mit schlechtem Absetzverhalten gewonnen werden als auch die Auswirkungen auf gut absetzbare Schlämme untersucht werden.

2 Grundlagen

2.1 Biologische Abwasserreinigung

Die biologische Abwasserbehandlung ist die zweite Stufe einer Abwasserreinigungsanlage. Sie basiert auf der Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen. Mit Hilfe von Bakterien werden die im Abwasser gelösten Substanzen entfernt. Die im Wasser gelösten Schmutzstoffe wie Fette, Kohlehydrate oder Eiweiße dienen als Energieträger für den Stoffwechselprozess der Mikroorganismen und werden so aus dem Abwasser entfernt.

Für die biologische Abwasserbehandlung stehen mehrere Verfahren zur Verfügung. In diesem Abschnitt wird nur das Belebtschlammverfahren erläutert.

Das Belebtschlammverfahren besteht aus zwei Teilen, dem Belebungsbecken und dem Nachklärbecken. Das Abwasser, das aus der mechanischen Stufe der Kläranlage kommt, wird kontinuierlich durch das Belebungsbecken geleitet. Die Mikroorganismen, von denen die organischen Schadstoffe abgebaut werden, schwimmen im Wasser. Sie siedeln sich auf den im Wasser verteilten Feststoffpartikeln an und bilden so als Flocken den belebten Schlamm. Beim Belebungsverfahren unterscheidet man zwischen aeroben und anaeroben Bereichen.

Im aeroben Teil der Belebungsstufe wird mittels Boden- oder Oberflächenbelüftern Luftsauerstoff in das Abwasser–Belebtschlamm–Gemisch eingetragen. Die im Belebtschlamm vorhandenen Mikroorganismen verstoffwechseln den im Abwasser vorhandenen Kohlenstoff und verbrauchen den zugeführten Sauerstoff. Gleichzeitig findet hier die sogenannte Nitrifikation statt, d.h. die Mikroorganismen wandeln die im Wasser gelösten Ammoniumverbindungen zunächst zu Nitrit, anschließend zu Nitrat um.

Im anaeroben bzw. anoxischen Bereich erfolgt die Denitrifikation. Hier werden die Nitrate, die über die Rückführung von Belebtschlamm direkt aus der Nitrifikation und aus der Nachklärung meist einer vorgeschalteten Denitrifikationsstufe zugeführt werden, zu Luftstickstoff reduziert, dieser gas aus dem Abwasser aus. In den Belebungsbecken wird auch ein Teil der im Wasser gelösten Phosphorverbindungen abgebaut.

Die Reihenfolge von aeroben und anaeroben Bereichen ist nicht zwingend festgelegt, es bietet sich jedoch eine vorgeschaltete Denitrifikation an. Bei nachgeschalteter Denitrifikation wären die organischen Substrate, die die anaeroben Bakterien als Nahrungsquelle zum Nitratabbau benötigen, bereits aus dem Abwasser entfernt.

Aus den Belebungsbecken gelangt das Wasser-Belebtschlamm-Gemisch in das Nachklärbecken. Dort sedimentiert der Belebtschlamm und das gereinigte Wasser fließt entweder in eine dritte Behandlungsstufe (Phosphatelimination) oder wird in den Vorfluter eingeleitet. Ein Teil des abgesetzten Klärschlammes wird in die Belebungsstufe zurückgeführt, als sogenannter Rücklaufschlamm. Der durch die Elimination der im Abwasser gelösten Stoffe entstandene Schlammzuwachs wird als Überschussschlamm aus dem Kreislauf ausgeschleust und der Schlammbehandlung (Faulung, Stabilisierung, Entwässerung) zugeführt.

Bei noch nicht näher bekannten Bedingungen kann es in der Belebungsstufe zu einem unerwünschten Wuchs von Bläh- oder Schwimmschlamm kommen, der die Reinigungsleistung der Abwasserreinigungsanlage vermindert.

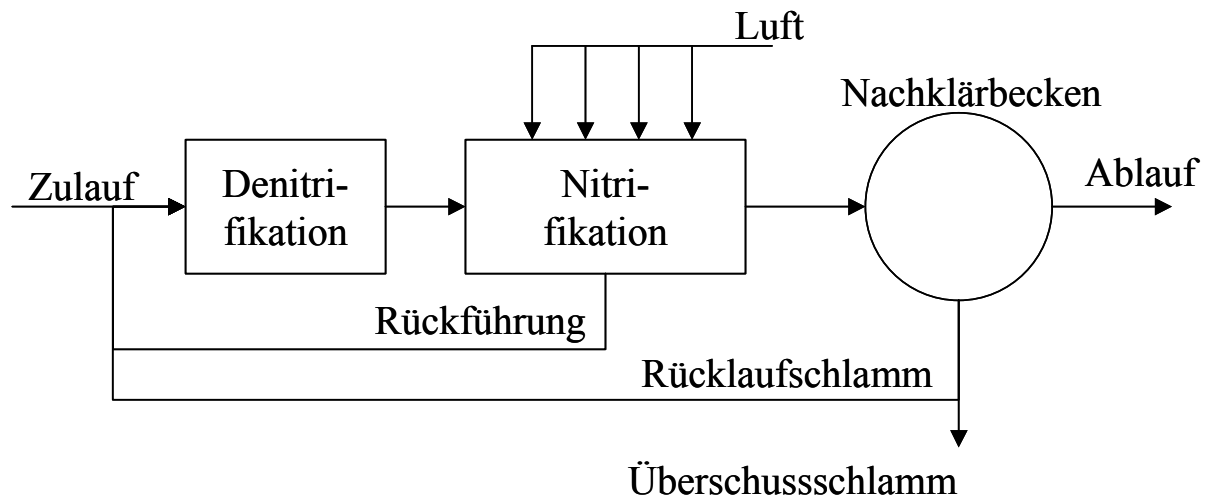


Abbildung 2-1: Vorgeschaltete Denitrifikation [Neitzel 1998]

2.2 Bläh- und Schwimmschlammproblematik

Blähschlamm ist ein Belebtschlamm, der sich in der Nachklärung nicht richtig absetzt, sondern in Schwebelage bleibt. Als Schwimmschlamm wird die auf Absetzbecken oder in Faulräumen schwimmende Schlammschicht genannt. Dieser Zustand wird meist durch ein massenhaftes Wachstum fadenförmiger Bakterien verursacht, in denen sich zusätzlich Gasblasen festsetzen können. Die Ursachen der Bläh- und Schwimmschlamm-Bildung sind bis heute noch nicht vollständig geklärt. Dadurch, dass sich dieser Schlamm im Nachklärbecken nicht absetzt, kommt es zu einem unerwünschten Schlammabtrieb in den Vorfluter. [ATV 3]

Momentan gibt es noch keine einheitliche und allgemein wirksame Maßnahme zur Bekämpfung dieser Schlammproblematik. Dies liegt vor allem an der Vielfalt der fadenförmigen Mikroorganismen und der großen Anzahl von Faktoren, von denen vermutet wird, dass sie das Wachstum dieser Bakterien beeinflussen.

Ziel der mechanischen Zerkleinerung dieser Bläh- und Schwimmschlammflocken mit Ultraschall ist das Zerstören der Fadenstruktur. Damit wird die voluminöse Schlammflocke in kleinere Bruchstücke zerteilt, die eingelagerten Gasblasen können entweichen und die Flocken sedimentieren besser.

2.3 Wirkung von Ultraschall in Flüssigkeiten

Als Ultraschall werden Schallwellen bezeichnet, die außerhalb des menschlichen Hörbereichs liegen (Frequenz > 20 kHz). Ultraschall breitet sich in Form von Longitudinalwellen aus und bewirkt eine periodische Verdichtung und Entspannung im Ausbreitungsmedium. Der entscheidende Vorgang bei der Desintegration von Klärschlamm ist die durch die Ultraschallwellen hervorgerufene Kavitation. Durch die wechselnde Komprimierung und Entspannung wird der Dampfdruck des Wassers unterschritten und es entstehen kleine Dampfblasen an sogenannten Kavitationskeimen (z.B. suspendierte Partikel). Die Dampfblasen pulsieren in Resonanz mit dem Ultraschallfeld, wobei die Größe zunimmt. Hat die Blase eine kritische Größe erreicht, ist sie nicht mehr in der Lage weitere Schallenergie zu absorbieren und stürzt unter der Einwirkung des äußeren Drucks schlagartig in sich zusammen. Infolge der Implosion treten in der Flüssigkeit sehr schnelle Strömungen, sogenannte Jetstreams, auf, die zu hohen Scherkräften führen. Des weiteren kommt es im Inneren der kollabierenden Dampfblasen zu sehr hohen Temperaturen (hot spot, mehrere 1000 °C) und sehr hohen Drücken (mehrere 100 bar).

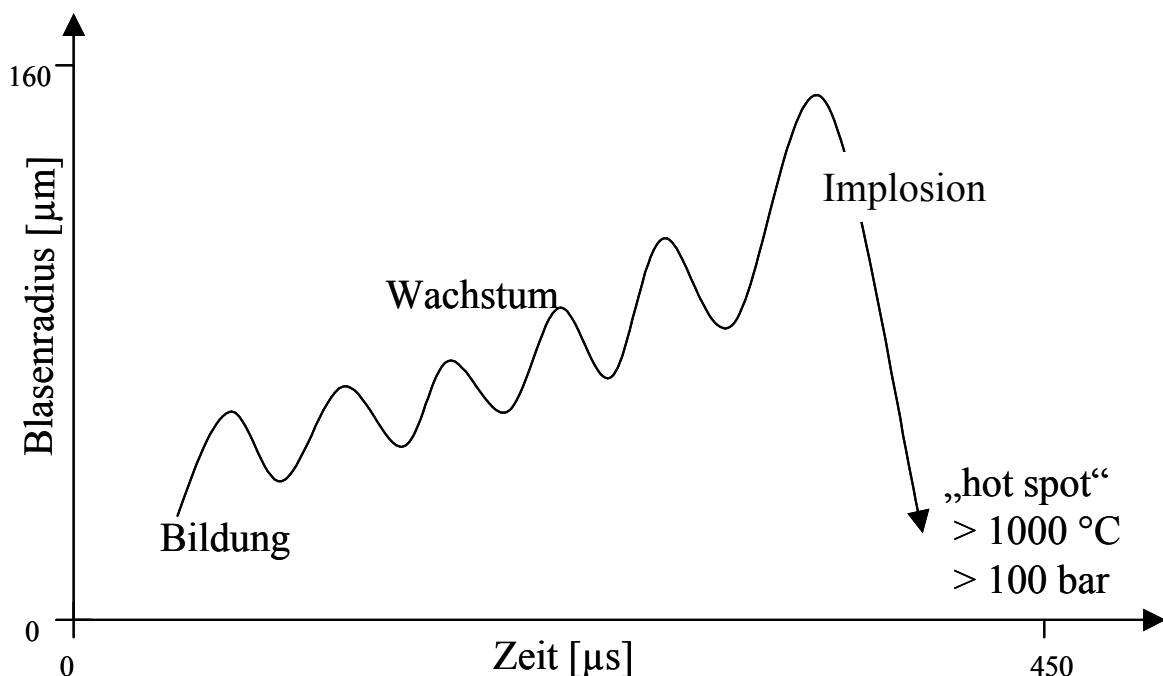


Abbildung 2-2: Bildung, Wachstum und Implosion einer Kavitationsblase im Ultraschallfeld [Brillen 1998]

3 Versuchserläuterung

3.1 Versuchsgeschäften

Für die Durchführung der Absetzversuche wurden folgende Geräte verwendet:

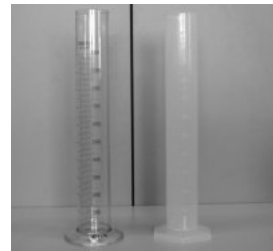
Ultraschallprozessor UIP 250, dr. hielscher GmbH
Generator: Anschlusswerte 230 V~, 2 A, 50-60 Hz
Schallwandler: Leistung 250 W
(Stabsonotrode) Arbeitsfrequenz 24 kHz



Elektronischer Feuchtemesser SCALTEC SMO 01 zur Bestimmung des Trockensubstanzgehalts



1000-ml Messzylinder aus Kunststoff und Glas



Mikroskop mit Video-Aufzeichnungsmöglichkeit und Zubehör



Probengefäße und Hilfsmittel zur Versuchsdurchführung
Anordnung der Versuchsgeschäften im mobilen Messkoffer



3.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau gestaltete sich bei allen Versuchen ähnlich. Die Versuchsgерäte (TS-Bestimmungsgerät, Hochfrequenzgenerator, Ultraschallgeber) sind in einer mobilen Gerätebox befestigt. Nach Aufstellung am Versuchsort sind sie nach Anschluss an das 230 V Stromnetz sofort einsatzbereit. Von den Kläranlagen wurde meist das Labor als Arbeitsplatz zugewiesen.

Ein Beispiel für die Versuchsanordnung zeigt Abbildung 3-1:

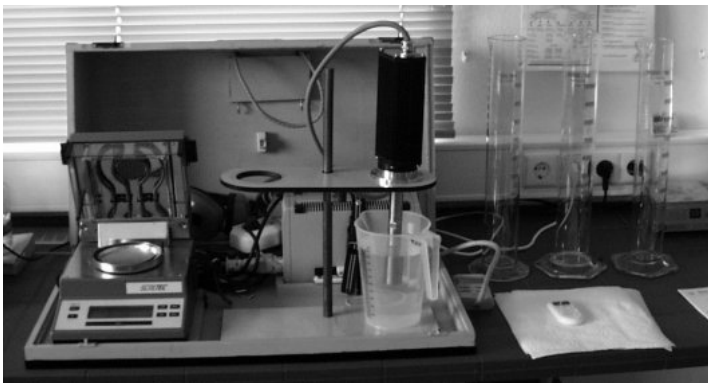


Abbildung 3-1: Versuchsaufbau auf der Kläranlage Dillingen a. d. Donau am 25.07.2002

3.3 Probenahme

Die Entnahme der Klärschlammprobe erfolgte grundsätzlich am Ablauf des Belebungsbeckens zum Nachklärbecken, da mit den Versuchen das Absetzverhalten in der Nachklärung untersucht werden soll. Der Versuch simuliert demnach eine Beschallung des Belebtschlammes auf dem Weg von den Belebungsbecken zum Nachklärbecken. Auf die unterschiedlichen Einsatzorte zur Ultraschallbehandlung des Belebtschlammes und deren mögliche Auswirkungen wird in Kapitel 6.2 näher eingegangen.

Die Proben wurden mittels Schöpfbecher mit langem Stiel aus ca. 0,5 m Tiefe aus dem Belebungsbecken entnommen und in ein offenes Probenahmegefäß gefüllt.



Abbildung 3-2: Ablauf des Belebungsbeckens und Probenahme auf der Kläranlage Dillingen a. d. Donau

Bei der Belebtschlammprobenahme tritt immer ein grundsätzliches Problem auf. Belebtschlamm ist, wie der Name schon sagt, eine lebende, biologisch aktive Substanz, deren Zusammensetzung und Verhalten sich mit der Zeit verändert. Die Schnelligkeit und Stärke der Veränderungen hängen von der Menge und den Umgebungsbedingungen des Belebtschlammes ab.

Für die Absetzversuche wird eine Gesamtmenge von 5 l Klärschlamm, aufgeteilt auf fünf Versuche benötigt. Die Versuche erstrecken sich über einen Zeitraum von zwei Stunden.

Während dieses Zeitraums ist es nicht gewährleistet, dass sich ein so geringes Schlammvolumen in einem offenen, unbelüfteten Probenahmegefäß in seiner Zusammensetzung so unmerklich verändert, dass immer von gleichen Versuchsbedingungen ausgegangen werden kann.

Demgegenüber kann aber ausgesagt werden, dass die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Belebtschlammes im Belebungsbecken innerhalb dieser zwei Stunden als konstant angenommen werden dürfen.

Somit wurde bei der Probenahme zwischen zwei Verfahren unterschieden:

- Absetzversuch ohne Aufzeichnung eines mikroskopischen Bildes:
Auf Kläranlagen ohne Aufzeichnungsmöglichkeiten am Mikroskop konnten alle Absetzzylinder innerhalb von 20 Minuten befüllt werden. Hier wurden demnach vor Versuchsbeginn ca. 6 l Belebtschlamm aus dem Ablauf des Belebungsbeckens entnommen.

- Absetzversuch mit Aufzeichnung eines mikroskopischen Bildes: Auf Kläranlagen mit Aufzeichnungsmöglichkeit wurde nach jedem Behandlungsschritt ein Mikroskopisches Bild des Schlammes aufgenommen. Daher konnte der letzte Absetzzylinder erst nach 60 Minuten befüllt werden. Hier wurde vor jedem neuen Teilversuch eine frische Belebtschlammprobe aus dem Belebungsbecken entnommen.

3.4 Ermittlung der Kenngrößen für Belebtschlamm

Ziel der Versuche ist die Ermittlung der Belebtschlammkenngrößen Schlammvolumenanteil φ_S und Schlammindex I_{SV} sowie der Absetzkurven der unbehandelten und der mit Ultraschall behandelten Belebtschlämme. Als Grundlage dafür dient die DIN 38414. Anhand dieser Untersuchungsgrößen wird die Absetzfähigkeit des belebten Schlammes überprüft und eine Basis zum Vergleich unterschiedlicher Schlämme in verschiedenen Kläranlagen geschaffen. [Koppe 1993]

3.4.1 Schlammvolumenanteil φ_S

Der Schlammvolumenanteil φ_S nach DIN 38141 Teil 10 dient zur Überprüfung der Absetzfähigkeit des belebten Schlammes und gibt einen ersten Hinweis auf die im Belebungsbecken vorhandene, biologisch aktive Schlammmasse.

Der unbehandelte bzw. behandelte Belebtschlamm wird dazu in einen 1000 ml Messzylinder eingefüllt. Alle fünf Minuten wird der sich einstellende Schlamm Spiegel an der Grenzfläche Wasser/Schlamm abgelesen. Der nach 30 Minuten ungestörten Absetzens erreichte Wert wird als Schlammvolumenanteil φ_S bezeichnet. Die abgelesenen Werte werden in ml/l angegeben.

Liegt das Schlammvolumen nach 30 Minuten Absetzzeit über 250 ml/l sollte die Probe nach [ATV 3] mit Wasser aus dem Nachklärbecken verdünnt werden. Die Verdünnung soll derart erfolgen, dass 1 Teil der Probe mit 1, 2, 3 oder 4 Teilen Wasser so gemischt wird, dass der Messwert zwischen 200 und 250 ml/l liegt. Der Messwert muss dann mit einem Faktor multipliziert werden.

Bei den Versuchen zur vorliegenden Forschungsarbeit wurde von dieser ATV-Vorgabe abgewichen. Alle Absetzvorgänge wurden unverdünnt durchgeführt, um die Versuche auf einer einheitlichen Basis miteinander vergleichen zu können. Außerdem ist bei verdünnten Versuchen die Aufzeichnung einer Absetzkurve nahezu unmöglich, da sich zu Beginn keine klare Trennschicht Schlamm/Wasser und dann der Endwert des Absetzvorgangs rasch einstellt.

Die Abweichung von der ATV-Vorgabe führt auch dazu, dass die berechneten Schlammindizes (s. Kap. 3.4.3) z.T. sehr hoch ausfallen und den tatsächlichen Wert nicht widerspiegeln. Eine quantitative Aussage der erhaltenen Werte auf die Wirksamkeit des Ultraschalls auf das Absetzverhalten des Schlammes lässt sich aber trotzdem treffen.

3.4.2 Trockensubstanzgehalt β_T

Parallel zum Schlammvolumenanteil wird mit dem Trockensubstanzbestimmungsgerät der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) des Belebtschlammes bestimmt. Als Trockensubstanz bezeichnet man nach DIN 38141 Teil 2 die unter bestimmten Bedingungen nach einem festgelegten Trocknungsprozess erhaltene Massenkonzentration der abfiltrierbaren Stoffe von belebtem Schlamm. Die Angabe erfolgt in g/l. Diese Werte beinhalten nicht nur die lebenden Anteile des belebten Schlammes, sondern ebenso die abgestorbenen wie auch anorganisches Material. Bei dieser Diplomarbeit wurde der TS-Gehalt mittels einer Verdampfungswaage bestimmt. Zu Beginn wird auf eine Schale im Gerät eine bestimmte Menge an Belebtschlamm aufgegeben und die Masse m_A bestimmt. Dann wird ein Verdampfungsprozess gestartet, der das Wasser aus dem Belebtschlamm verdampft. Am Ende des Prozesses wird das Gewicht der verbleibenden Masse m_E ermittelt und aus diesen Werten der TS-Gehalt wie folgt berechnet:

$$\beta_T = \frac{m_E}{V_w} \left[\frac{\text{g}}{\text{l}} \right] \quad (\text{Gleichung 1})$$

$$V_w = m_w \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{m_w}{1000 \text{ g}} \left[\text{l} \right] \quad (\text{Gleichung 2})$$

$$m_W = m_A - m_E \quad [\text{ g }] \quad (\text{Gleichung 3})$$

3.4.3 Schlammindex I_{SV}

Mittels des Schlammvolumenanteils und des TS-Gehalts kann dann der Schlammindex I_{SV} berechnet werden. Der Schlammindex ist der Quotient aus dem Schlammvolumenanteil und dem TS-Gehalt und hat die Einheit ml/g.

$$I_{SV} = \frac{\varphi_S}{\beta_T} \quad \left[\frac{\text{ ml } }{\text{ g } } \right] \quad (\text{Gleichung 4})$$

Der Schlammindex gibt an, welches Volumen 1 g abgesetzter belebter Schlamm (ausgedrückt als Trockensubstanz) nach 30 Minuten langem Absetzen einnimmt. Diese Kenngröße erlaubt es, die Indexwerte verschiedener Kläranlagen miteinander zu vergleichen. Belebtschlämme mit I_{SV} -Werten größer 150 ml/g und ausgeprägt fädigen Bakterienkolonien werden als Blähschlämme bezeichnet. Je niedriger die Werte sind, desto besser setzt sich der Schlamm ab.

Index beeinflussende Faktoren sind:

- Schwankende Belastung
- Verschiebung der Wachstumsphasen
- Veränderung der Nährstoffverhältnisse
- Hohe Anteile anorganischer Inhaltsstoffe

3.4.4 Aufschwimmender Schlammvolumenanteil

Bildet sich während des Absetzversuchs eine Schwimmschlammschicht im Messzylinder aus wird zusätzlich zum Schlammindex der aufschwimmende Schlammvolumenanteil AVA als Quotient aus dem aufgeschwommenen Schlammvolumen und der Summe aus aufgeschwommenem und sedimentiertem Schlammvolumen errechnet:

$$AVA = \frac{V_{\text{aufgeschwommen}}}{V_{\text{aufgeschwommen}} + V_{\text{se dim enteirt}}} = \frac{V_{\text{auf}}}{V_{\text{auf}} + V_{\text{sed}}} \quad [-] \quad (\text{Gleichung 5})$$

Schwimmt der gesamte Schlamm auf, ist der $AVA = 1 = 100\%$, sedimentiert der gesamte Schlamm, nimmt der AVA den Wert $AVA = 0 = 0\%$ an.

3.4.5 Mikroskopisches Bild des Klärschlamm

Weiterer Inhalt der Versuche auf den Abwasserreinigungsanlagen war die Aufzeichnung eines mikroskopischen Bildes der Belebtschlämme. Aus der Struktur der Schlammflocken und der Struktur zwischen den Flocken sollten Aussagen über das Absetzverhalten gewonnen werden. Ebenso war die Auswertung des mikroskopischen Bildes für die Auswahl der Beschallungszeiten notwendig, da sichergestellt werden sollte, dass nicht die gesamten Mikroorganismen zerstört werden. Bei der Betrachtung der Flocken wurde auf folgende Kriterien geachtet:

- Größe der Belebtschlammflocken
- Struktur innerhalb der Schlammflocken (Verästelungen)
- Struktur zwischen den Schlammflocken (Fadenwachstum o.ä.)

Das mikroskopische Bild wurde immer in einer 100-fachen Vergrößerung am Mikroskop aufgezeichnet.

3.5 Wahl der Beschallungszeiten

Vor Beginn der Versuchsreihe mussten zunächst vier Beschallungszeiten ausgewählt werden. Dazu wurden auf der Kläranlage in Dillingen a. d. Donau zwei Testversuchsreihen durchgeführt. Die Versuche beinhalteten sowohl Absetzversuche mit unterschiedlich beschallten Schlämmen als auch die Betrachtung des dazugehörigen mikroskopischen Bildes bezüglich der Zerstörung der im Schlamm enthaltenen Mikroorganismen. Eine vollständige Abtötung aller Mikroorganismen ist im Hinblick auf die Reinigungsleistung der Abwasserreinigungsanlage unerwünscht. Als Probenvolumen wurde, wie für die Versuchsreihen später, auch ein Liter Belebtschlamm aus dem Ablauf des Belebungsbeckens entnommen und beschallt.

Diagramm 3-1 zeigt die Absetzkurven des ersten Testversuchs auf der Kläranlage Dillingen a. d. Donau. Wie dort zu erkennen ist, liegt die stärkste Veränderung des Absetzverhaltens im Bereich bis zu 60 s. Eine längere Beschallungszeit zeigt hier keine deutliche Verbesserung des Absetzverhaltens. Eine Beschallungszeit unter 10 s führte zu keinem befriedigenden Effekt, so dass 10 s Beschallung als Untergrenze für die Versuchsreihen festgelegt wurde.

Die Auswertung der mikroskopischen Bilder der behandelten Schlämme führte zu dem Ergebnis, dass bei keiner der untersuchten Beschallungszeiten die im Schlamm enthaltenen Mikroorganismen vollständig zerstört wurden. Selbst bei 120 s Behandlungszeit wurden noch lebende Mikroorganismen festgestellt. Die aus den Absetzversuchen erhaltenen Zeiten können somit aus dieser Sicht so übernommen werden.

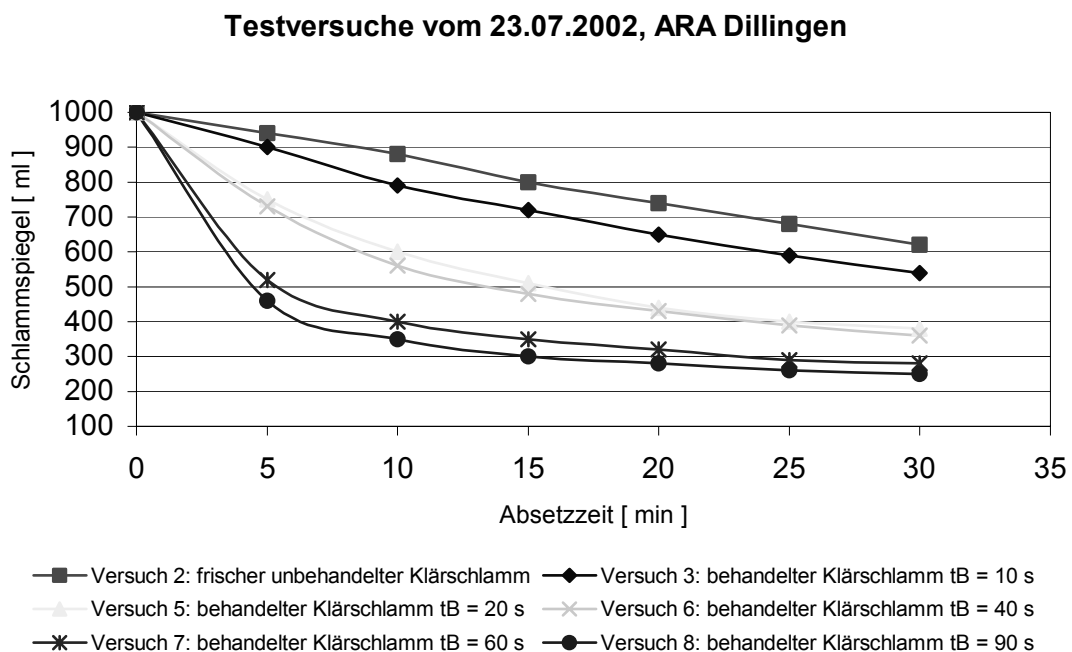


Diagramm 3-1: Absetzkurve des Testversuchs 1 vom 23.07.2002, ARA Dillingen a. d. Donau

Für die Versuchsreihen wurden demnach folgende Beschallungszeiten festgelegt: 10, 20, 40 und 60 Sekunden.

3.6 Versuchsdurchführung

Aufgrund der Aktivität des Belebtschlammes wurde darauf geachtet, die Versuche in einem möglichst kurzen Zeitraum durchzuführen. Die Durchführung der Versuche erfolgte meist im Labor der Abwasserreinigungsanlage. Nach Aufbau der Gerätschaften erfolgte die erste Probenahme aus dem Belebungsbecken (näheres zur Probenahme siehe Kapitel 3.3). Die Ermittlung des TS-Gehalts wurde zu Beginn der Versuchsreihe nur einmal durchgeführt und auch für die Berechnung der Schlammindizes der behandelten Schlämme verwendet. Durch die Ultraschallbehandlung ändert sich der TS-Gehalt im Schlamm nicht, da keine Masse zu- oder abgeführt wird. Während des Versuchszeitraums kann der TS-Gehalt im Belebungsbecken als konstant angenommen werden. Nach dem Start der TS-Bestimmung wurden die einzelnen Absetzversuche durchgeführt. Der Zeitraum für die Versuchsreihe lag zwischen 50 und 90 Minuten und unterschied sich darin, ob auf der Kläranlage ein Mikroskop mit Video-Aufzeichnungsmöglichkeit zur Verfügung stand oder nicht. Der detaillierte Versuchsablauf ist in Anhang C zu finden. Bei Anlagen, die kein Mikroskop mit Aufzeichnungsmöglichkeit besitzen, wurde bei Versuchsende eine frische Belebtschlammprobe von ca. $\frac{1}{2}$ l aus dem Belebungsbecken entnommen, in eine 2 l fassende Kunststoffschraubflasche eingefüllt und zur Aufnahme des mikroskopischen Bildes des unbehandeltem Schlammes mit auf die Kläranlage nach Dillingen a. d. Donau genommen.

4 Versuchsauswertung

4.1 Untersuchte Abwasserreinigungsanlagen

Für die vorliegende Diplomarbeit wurden auf 10 Kläranlagen insgesamt 16 Absetzversuche durchgeführt. Einen Überblick über die Anlagen, deren Ausbaugröße, die Reinigungsverfahren nach ATV und die Anzahl der durchgeführten Versuche zeigt Tabelle 4-1. Bei der Auswahl der Anlagen wurde darauf geachtet, dass eine möglichst große Bandbreite an Ausbaugrößen untersucht wird.

Nr.	Kläranlage	Versuchs-Nr.	Ausbaugröße [EW]	Verfahren (nach ATV)	Anzahl der Versuche
1	Dillingen	1,2,14,15,16	45.000	B, P	5
2	Kicklingen	3, 4	1.000	Bs	2
3	Lauingen	5	45.000	B, Z	1
4	Gundelfingen	6	29.520	B+T	1
5	Holzheim	7	3.600	Bs	1
6	Augsburg	8	600.000	B, Kf, P	1
7	Höchstädt	9, 10	15.000	B	2
8	Wertingen	11	24.000	B, Bf, P	1
9	Günzburg	12	110.000	B, Z, P	1
10	Mörslingen	13	2.000	Bs	1
Abkürzungen:					
B	Belebungsanlage	Bs	Belebungsanlage mit gemeinsamer Schlammstabilisierung	P	Anlagen mit gezielter Phosphorelimination
T	Tropfkörper				
Kf	Kammerfilterpresse	Z	Zentrifuge	Bf	Bandfilterpresse

Tabelle 4-1: Übersicht der untersuchten Abwasserreinigungsanlagen [ATV]

Die Versuche Nr. 3 und 4 auf der Kläranlage in Kicklingen werden nicht mit in die Auswertung einbezogen. Auf dieser Anlage wird das Abwasser in einem mittels Walzenbelüftern umgewälzten Oxidationsgraben gereinigt in dem zugleich die Schlammstabilisierung abläuft. Es wird daher mit einem sehr hohen TS-Gehalt von 8,9 g/l gefahren. Dadurch ist ein unverdünnter Absetzversuch nicht durchführbar und

auch die bei einem verdünnten Absetzversuch erhaltenen Daten erbrachten keine aussagekräftigen Ergebnisse.

Die beiden kleineren Kläranlagen in Holzheim und Mörslingen leiten das Abwasser nach der mechanischen Stufe ohne Vorklärung in ein abwechselnd belüftetes und unbelüftetes Belebungsbecken.

Die Anlagen in Höchstädt und Wertingen arbeiten ebenfalls ohne Vorklärung. Die biologische Stufe besteht aus einer Belebungsstraße, bei der die Denitrifikation der Nitrifikation vorgeschaltet ist.

In Dillingen, Lauingen, Günzburg und Augsburg ist der biologischen Stufe, die ebenfalls mit vorgeschalteter Denitrifikation arbeitet, eine Vorklärung vorangestellt.

Eine Besonderheit bei den untersuchten Kläranlagen stellt die Anlage in Gundelfingen dar. Einer mechanischen Stufe ohne Vorklärung folgt die Denitrifikation und dann die Nitrifikation. Nach einer Zwischenklärung wird das Wasser aus der Belebung einer Tropfkörperanlage zugeleitet.

Nach den oben beschriebenen Stufen folgt bei allen Anlagen die Nachklärung und danach die Einleitung des Wassers in den Vorfluter.

4.2 Versuchsergebnisse

4.2.1 Quantitativer Überblick

Tabelle 4-2 zeigt einen quantitativen Überblick über die Auswirkungen der Ultraschallbehandlung auf das Absetzverhalten des Belebtschlammes aller Versuche. Hier erfolgt noch keine Aussage über die Größenordnung der Änderung, sondern nur ein Überblick inwieweit eine Verbesserung oder eine Verschlechterung der Absetzeigenschaften eintrat.

Versuchsauswertung

Versuchs-Nr.	10s	20s	40s	60s	TS [g/l]	φ_s unbeh. [ml/l]	I _{sv} eigen [ml/g]	I _{sv} ARA [ml/g]
1	+	+	+	+	3,49	350	100	88
2	+	+	+	+	3,67	520	142	107
3	Außer Betrachtung							
4	Außer Betrachtung							
5	o	+	+	+	2,52	200	79	95
6	-	-	-	-	3,54	90	26	35
7	+	+	+	+	2,11	210	100	n. vorh.
8	-	-	o	o	1,88	180	96	67
9	+	+	+	+	3,05	670	220	120
10	+	+	+	+	2,58	710	275	107
11	+	+	+	+	4,34	550	127	60
12	-	+	+	+	2,10	600	286	171
13	+	+	+	+	2,96	570	193	n. best.
14	+	+	+	+	2,92	250	86	81
15	+	+	+	+	3,41	330	97	75
16	+	+	+	+	3,94	380	96	84

Tabelle 4-2: Überblick über Verbesserung (+), Verschlechterung (-) bzw. Gleichbleiben (o) der Absetzeigenschaften durch die Ultraschallbehandlung gegenüber dem unbehandelten Belebtschlamm

Neben der Angabe zur Verbesserung und Verschlechterung des Absetzverhaltens sind auch noch die Kenngrößen des jeweiligen Schlamms am Versuchstag angegeben: TS-Gehalt, gemessenes Schlammvolumen des unbehandelten Schlamms, daraus errechneter Schlamminde und der von der Kläranlage im verdünnten Absetzversuch nach ATV-Handbuch bestimmte Schlamminde zum Vergleich.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass bei Schlämmen, die in unbehandeltem Zustand einen nach ATV ermittelten Schlamminde > 70 ml/g aufweisen meist eine Verbesserung, aber keinesfalls eine Verschlechterung der Absetzeigenschaften durch die Ultraschallbehandlung eintritt. Bei Versuch Nummer 11 tritt trotz niedrigerem Schlamminde ebenfalls eine Verbesserung ein. Ausschlaggebend hierfür ist vermutlich der deutlich höhere TS-Gehalt gegenüber allen anderen Versuchen. Im

Mittel wurde auf den beprobten Kläranlagen ein Verbesserung des Absetzverhaltens um 19 % erreicht. Lag der Schlamminde unter 70 ml/g bzw. bei geringem TS-Gehalt blieb das Absetzverhalten gleich oder verschlechterte sich sogar (s. Versuch 6 und 8) um mehr als 20 %. Als einziger Versuch mit einem unbehandelten Schlamminde > 70 ml/g weist die zehnssekundige Beschallung bei Nr. 12 eine Verschlechterung auf.

Festzustellen war auch, dass das Überstandswasser mit zunehmender Beschallungszeit wesentlich trüber war als im unbehandelten Zustand.

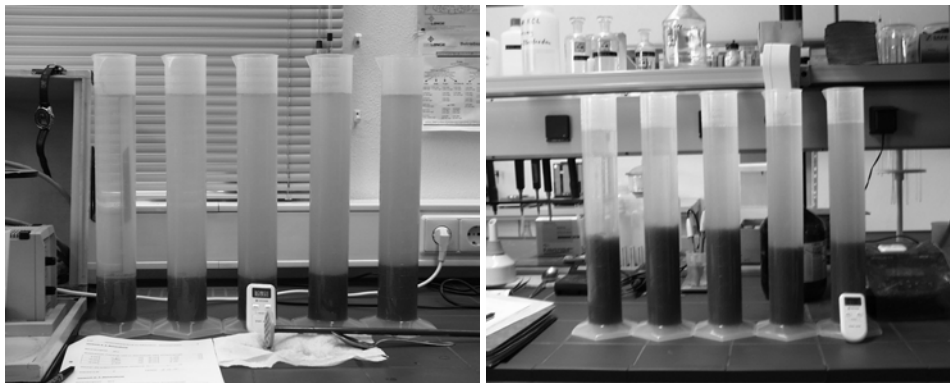


Abbildung 4-1: Zunahme der Trübung im Überstandswasser, links in Dillingen, rechts in Günzburg jeweils v.l.n.r.: 0, 10, 20, 40 und 60 Sekunden beschallt

4.2.2 Kläranlagen mit einem Schlamminde > 70 ml/g

Im Versuchszeitraum hatte keine Anlage ein verstärktes Auftreten von Schwimm- oder Blähschlamm zu verzeichnen. Auf der Kläranlage in Dillingen a. d. Donau konnte nach Regenereignissen, nachdem das Niederschlagswasser in der Anlage angekommen war, gering aufschwimmender Schlamm beobachtet werden. Lediglich am zweiten Versuchstag auf der ARA Dillingen am 30.07.2002 wurde auf dem Nachklärbecken sowie im Belebungsbecken eine deutliche Schwimmschlammschicht festgestellt. Nach Aussage des Klärwerkspersonals der anderen Abwasserreinigungsanlagen treten aber auch dort vor allem in den Wintermonaten oder beim Temperaturwechsel im Frühjahr oder Herbst Schlammprobleme auf.



Abbildung 4-2: Schwimmschlammschicht (v.l.n.r.) auf dem unbelüfteten, belüfteten Belebungsbecken und dem Nachklärbecken der Kläranlage Dillingen a. d. Donau am 30.07.2002

Bei allen Versuchen zeigt sich bei einem Schlammindex $> 70 \text{ ml/g}$ eine teilweise sehr deutliche Verbesserung des Absetzverhaltens. Die Verbesserung bei den einzelnen Schlämmen lag bei bis zu 44 % gegenüber dem unbehandelten Schlamm. Die deutlichste Verbesserung trat immer bei einer Behandlung mit 60 s ein (15 – 44 %). Demgegenüber wurden aber auch bei den geringeren Behandlungsstufen je nach Schlamm ein deutlich besseres Absetzverhalten erreicht (10 s: 0 – 31 %; 20 s: 3 – 33 %; 40 s: 5 – 43 %). Einzige Verschlechterung trat bei der 10-sekundigen Behandlung auf der Kläranlage Günzburg auf (Verschlechterung um 8 %). Eine detaillierte Übersicht über die Verbesserung des Absetzverhaltens ist in Anhang E aufgeführt.

Ein Beispiel für die Verbesserung der Absetzeigenschaften für Versuch Nr. 2 auf der ARA Dillingen a. d. Donau zeigen Diagramm 4-1 und Diagramm 4-2 auf der folgenden Seite:

Versuch Nr. 2, 30.07.2002, ARA Dillingen

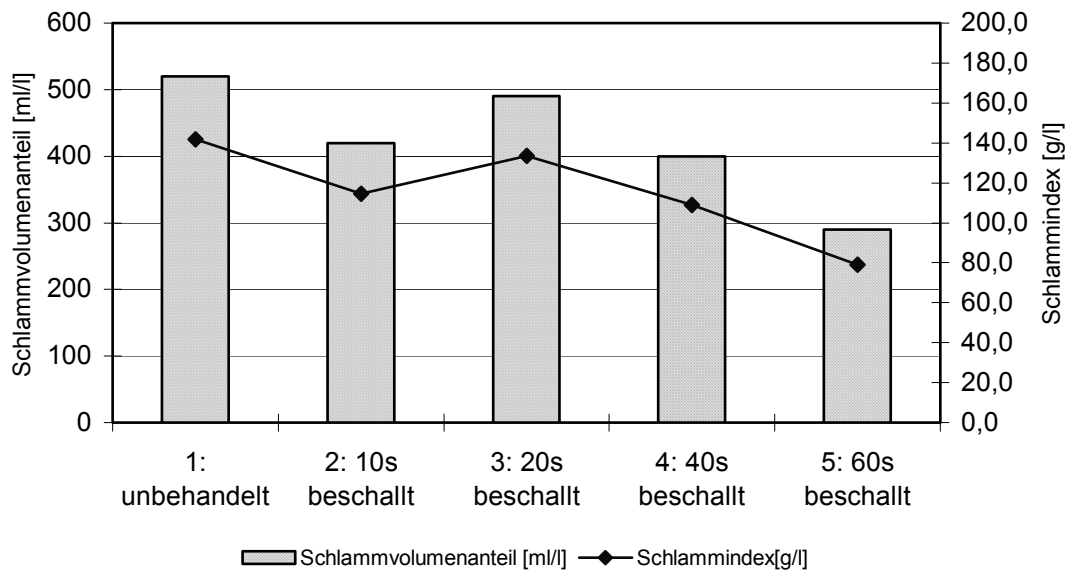


Diagramm 4-1: Veränderung von Schlammvolumen und Schlammindex mit unterschiedlichen Beschallungszeiten

Versuch Nr. 2, 30.07.2002, ARA Dillingen

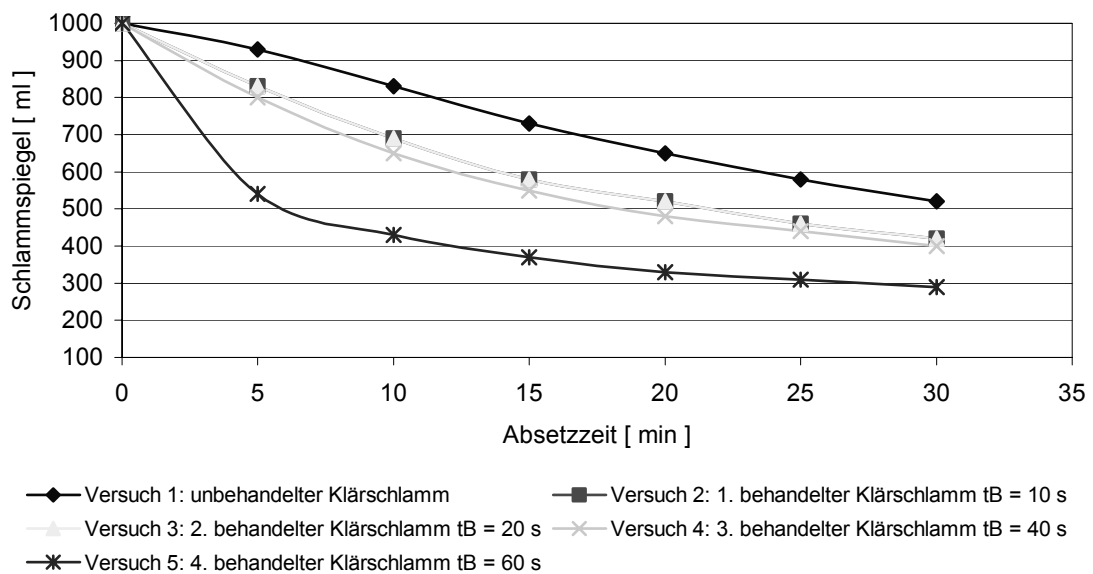


Diagramm 4-2: Absetzkurve für Versuch Nr. 2

Betrachtet man die Absetzkurven (Diagramm 4-2 und Anhang F) so ist festzustellen, dass sich der Schlamm in den ersten zehn Minuten nach Beschallung mit zunehmender Behandlungszeit meist wesentlich schneller absetzt als der unbehandelte Schlamm. Die Absetzkurve flacht dann aber, besonders bei den längeren Beschallungszeiten meist stark ab. D.h., der Minimalwert für das Schlammvolumen wird sehr schnell angenähert.

In Diagramm 4-1 ist ebenfalls festzustellen, dass die Ultraschallbehandlung mit 20 s zwar eine Verbesserung gegenüber dem unbehandelten Schlamm liefert, aber das dortige Absetzverhalten gegenüber den anderen Behandlungszeiten deutlich schlechter ist. Ähnliche Abweichungen sind auch bei den meisten der anderen Versuchsreihen festzustellen, wobei diese Eigenschaft sowohl bei 10, 20 und 40 sekündiger Behandlungszeit auftrat. Lediglich bei 60 s Behandlung liegt immer der niedrigste Wert vor.

4.2.3 Kläranlagen mit einem Schlamminde < 70 ml/g

Auf den Kläranlagen bei denen der Schlamminde bereits ohne zusätzliche Schlammbehandlung unter 70 ml/g lag, hat die Ultraschallbehandlung kaum Auswirkungen auf das Absetzverhalten gezeigt. Auf der Kläranlage Gundelfingen mit einem Schlamminde von 25,5 ml/g am Versuchstag trat sogar eine geringe Verschlechterung des Absetzverhaltens auf. Grundsätzlich erscheint der Einsatz von Ultraschall zur Verbesserung des Absetzverhaltens bei derartigen Belebtschlämmen nicht als notwendig oder sinnvoll.

In diesem Bereich kommt die Ultraschallbehandlung nur als Mittel zum Zellaufschluss mit dem Ziel eines besseren organischen Abbaus und der vermehrten Faulgasproduktion in Frage.

Versuch Nr. 8, 12.08.2002, ARA Augsburg

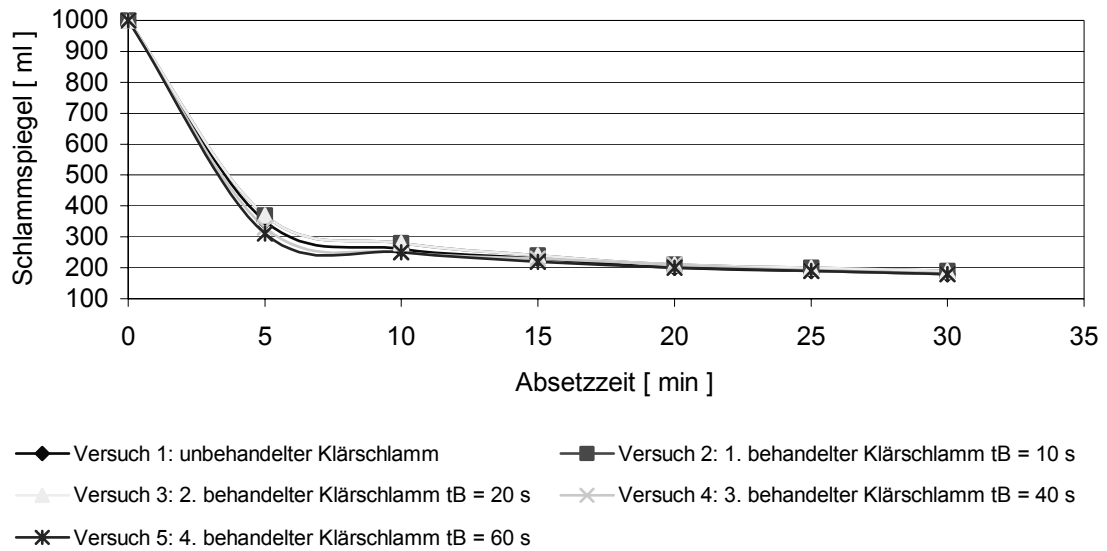


Diagramm 4-3: Absetzkurven des Versuchs vom 12.08.2002 auf der Kläranlage Augsburg

Versuch Nr. 6, 05.08.2002, ARA Gundelfingen

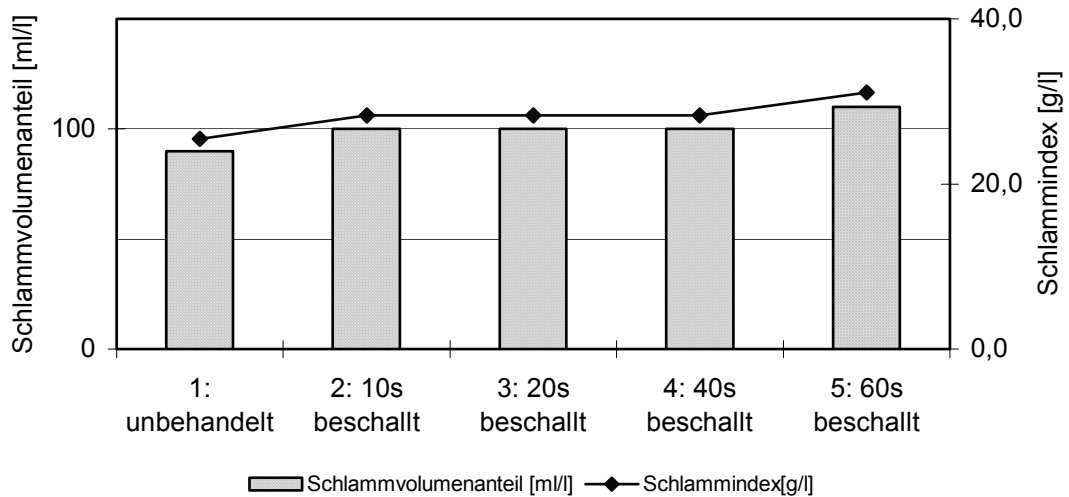


Diagramm 4-4: Verschlechterung des Absetzverhaltens durch Beschallung auf der ARA Gundelfingen

4.3 Auswertung des mikroskopischen Bildes

Für Aussagen zu den Auswirkungen der Ultraschallbehandlung auf die Schlammflockenstruktur können nur die Aufnahmen der in Dillingen a. d. Donau durchgeführten Versuche herangezogen werden. Von den anderen Kläranlagen wurden nur Bilder des unbehandelten Schlammes aufgezeichnet.

Die Auswertung der mikroskopischen Bilder von der Kläranlage Dillingen a. d. Donau bestätigen die aufgestellten Vermutungen. Der Dillinger Klärschlamm weist starke Verästelungen innerhalb und zwischen den Flocken auf, wodurch das Absetzverhalten stark beeinträchtigt wird. Je länger der Schlamm mit Ultraschall behandelt wird, desto stärker werden die Verästelungen zerstört. Es entstehen kleinere, kompaktere und unabhängige Flocken. Durch ihr geringeres Volumen aber kompaktere Masse sedimentieren sie schneller und nehmen am Ende ein geringeres Volumen ein, da die Schlammflocken dichter aneinander lagern können, d.h. sie kompaktieren besser.

In Abbildung 4-3 auf der folgenden Seite sind die starke Verästelung innerhalb der Schlammflocken beim unbehandelten Schlamm gut zu erkennen. Die Verästelung erstreckte sich über die komplette Probe, so dass nicht von unabhängigen Flocken gesprochen werden kann. Nach 10 s Behandlung sind die Fäden zwischen den Flocken bereits weitgehend zerstört, aber innerhalb der immer noch großen Flocken liegen weiterhin fädige Strukturen vor. Ab einer Beschallungszeit von 20 s werden auch die ersten Flocken zerkleinert, es entsteht ein für das Absetzverhalten günstigeres Masse – Volumen – Verhältnis. Eine Behandlungszeit von 60 s führt zu einer starken Zerkleinerung der Flocken. Es finden sich danach auch sehr viele kleine Bruchstücke, wie auch das Bild zeigt, die dadurch zu der starken Trübung des Überstandswassers führen.

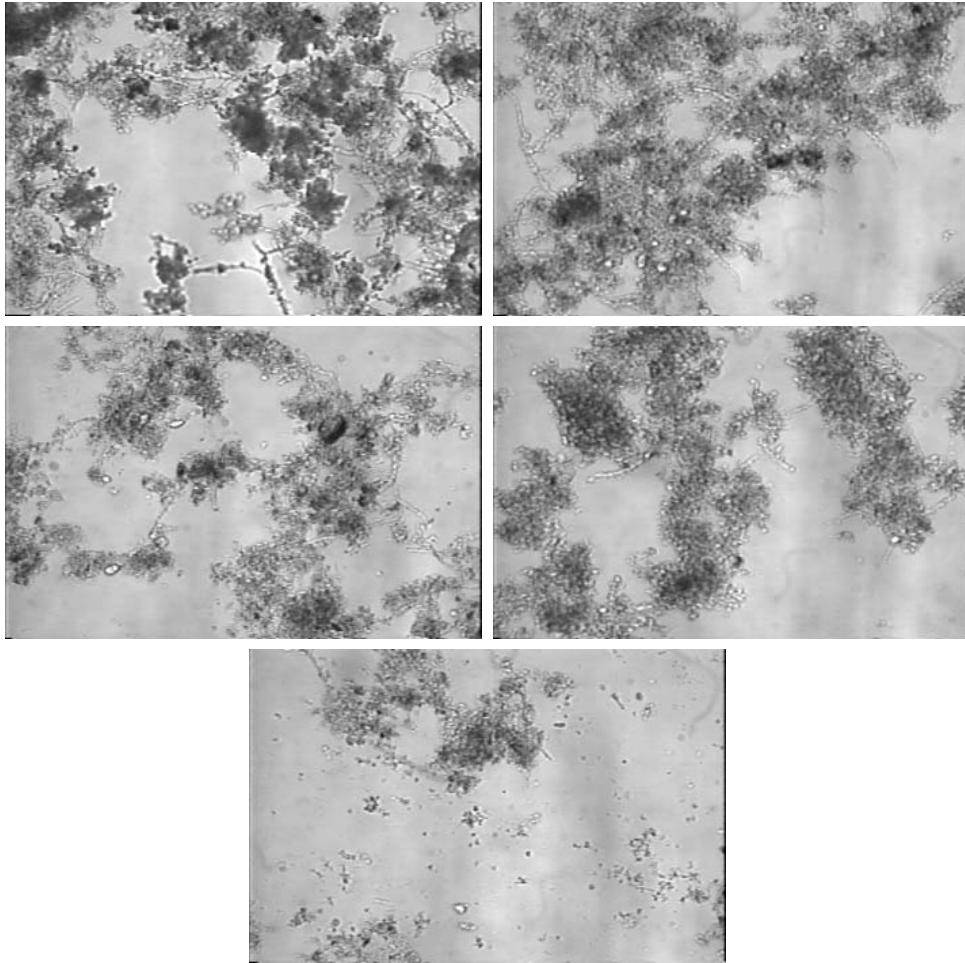


Abbildung 4-3: Mikroskopische Aufnahmen von unbehandeltem und behandeltem Belebtschlamm, ARA Dillingen, 21.08.2002. jeweils v. l. n. r.: obere Reihe unbehandelt, 10 s behandelt; mittlere Reihe 20 s, 40 s behandelt; unten 60 s behandelt

Ebenso wird bei der Auswertung deutlich, dass nicht alle Mikroorganismen durch die Ultraschallbehandlung zerstört werden, sondern sogar bei 60 sekündiger Beschallung zum Teil noch eine Vielzahl an lebenden Mikroorganismen in der Probe zu finden sind.

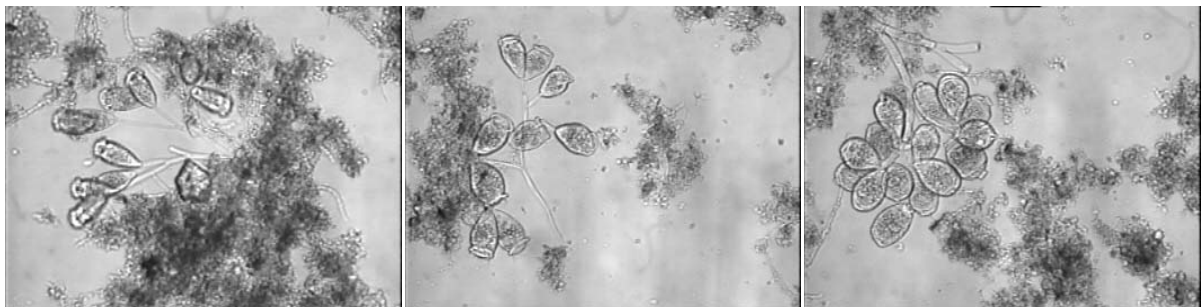


Abbildung 4-4: Mikroskopische Aufnahme von Mikroorganismen in (v. l. n. r.) unbehandeltem, 20 s und 40 s behandeltem Schlamm

Auf den Bildern ist zu erkennen, dass bei unbehandeltem Schlamm die Mikroorganismen mit ihren Stielen in der Schlammmatrix verwurzelt sind. Nach 20 s Behandlungszeit liegen die Kolonien nicht mehr verankert aber noch vollkommen intakt vor. Bei 40 s Beschallung ist hier zu erkennen, dass am oberen Bildrand zwei Köpfe der Mikroorganismenkolonie von ihren Stielen gerissen wurden.

4.4 Analyse des Überstandswassers

Im Rahmen einer Versuchsreihe wurde eine Untersuchung des Überstandswassers des unbehandelten und des mit 60 s behandelten Belebtschlammes vorgenommen. Hierbei stellt sich die Frage, ob es durch die Ultraschallbehandlung zu einer Rücklösung oder Freisetzung der durch die Mikroorganismen aufgenommenen Stoffe kommt. Dies wäre für eine Ultraschallbehandlung am Ablauf der Belebungsstufe, wie sie bei den Absetzversuchen simuliert wird, unerwünscht. Die Ablaufwerte aus dem Nachklärbecken wären dann schlechter als ohne Ultraschallbehandlung.

Tabelle 4-3 zeigt eine Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse. Alle Werte sind in mg/l angegeben:

Untersuchte Verbindung	unbehandelt	60 s beschallt	Grenzwert für Ableitung
NO ₃ -N	7,60	7,34	
NO ₂ -N	0,082	0,192	
NH ₄ -N	0,065	0,480	
=> N _{Ges}	7,747	8,012	10
PO ₄ P (= P _{Ges})	1,90	7,44 (Messbereich überschritten)	1,8
CSB	28,7	179 (Messbereich überschritten)	35
BSB ₅	1	5	Übliche Werte: 2 – 4 mg/l

Tabelle 4-3: Analyseergebnisse (in mg/l) der Überstandswasseruntersuchung von unbehandeltem und mit 60 s beschalltem Belebtschlamm auf der ARA Dillingen a. d. Donau, 04.09.2002

Die Werte für Phosphat-Phosphor (PO₄P) entsprechen nicht den möglichen Ablaufwerten aus der Nachklärung, da die Zugabe von Phosphatfällmittel erst nach

der Probenahmestelle für die Absetzversuche erfolgt. Eine Auswirkung der Ultraschallbehandlung auf den PO_4P -Gehalt kann dennoch beobachtet werden:

Festzustellen ist, dass sich die Werte z. T. bis zu versiebenfachen. Fraglich ist, ob die Verschlechterung der Werte mit einer Rücklösung zusammenhängt oder dadurch beeinflusst werden, dass im Überstandswasser mehr kleinste Schlammpartikel (Trübung) enthalten sind, als im unbehandelten Wasser (klar).

Um diesen Sachverhalt zu klären wurde am 02.10.02 ein weiterer Absetzversuch auf der Kläranlage in Dillingen a. d. Donau durchgeführt und wiederum das Überstandswasser analysiert. Dazu wurde ein Teil des 60 s beschallten Überstandswassers vor der Analyse mit einem Faltenfilter MN 615¼ von Macherey-Nagel gefiltert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-4 zusammengefasst.

Untersuchte Verbindung	unbehandelt	60 s beschallt, unfiltriert	60 s beschallt, filtriert
$\text{NO}_3\text{-N}$	8,03	8,10	8,34
$\text{NO}_2\text{-N}$	0,089	0,261	0,116
$\text{NH}_4\text{-N}$	0,051	0,484	0,318
=> N_{Ges}	8,17	8,845	8,774
PO_4P (= P_{Ges})	2,01	10,6	2,78
CSB	22,7	334	126
BSB ₅	5	42	15

Tabelle 4-4: Analyseergebnisse (in mg/l) der Überstandswasseruntersuchung von unbehandeltem und mit 60 s beschalltem Belebtschlamm auf der ARA Dillingen a. d. Donau, 02.10.2002

Anhand dieser Messdaten wird deutlich, dass der Grund für die Erhöhung der Messwerte bei beschalltem Schlamm gegenüber unbehandeltem hauptsächlich in den im Überstandswasser vorhandenen kleinsten Schlammpartikeln, der visuell sichtbaren Trübung, zu suchen ist. Aber auch die filtrierte Probe weist noch erhöhte Analysewerte auf. Es stellt sich hierbei die Frage ob die erhöhten Werte nun tatsächlich auf eine Rücklösung der Abwasserinhaltsstoffe aus durch den Ultraschall zerstörten Mikroorganismen und Bakterien zurückzuführen ist oder der verwendete

Filter nicht alle Schwebstoffe zurückhält. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung wären für ein weiteres Forschungsprojekt interessant.

Die genauen Daten der für die chemische Analyse verwendeten Geräte und Hilfsmittel ist in Anhang B zu finden.

4.5 Mathematische Beschreibung der Absetzkurven

Eine Möglichkeit für die Versuchsauswertung bietet die mathematische Beschreibung des Absetzvorgangs. Hierbei stellt sich die Frage ob sich eine einfache mathematische Funktion finden lässt, mit deren Hilfe das Absetzverhalten des Belebtschlammes nach der Ultraschallbehandlung über seine Stoffdaten und über die variablen Parameter der Beschallung berechnet werden kann.

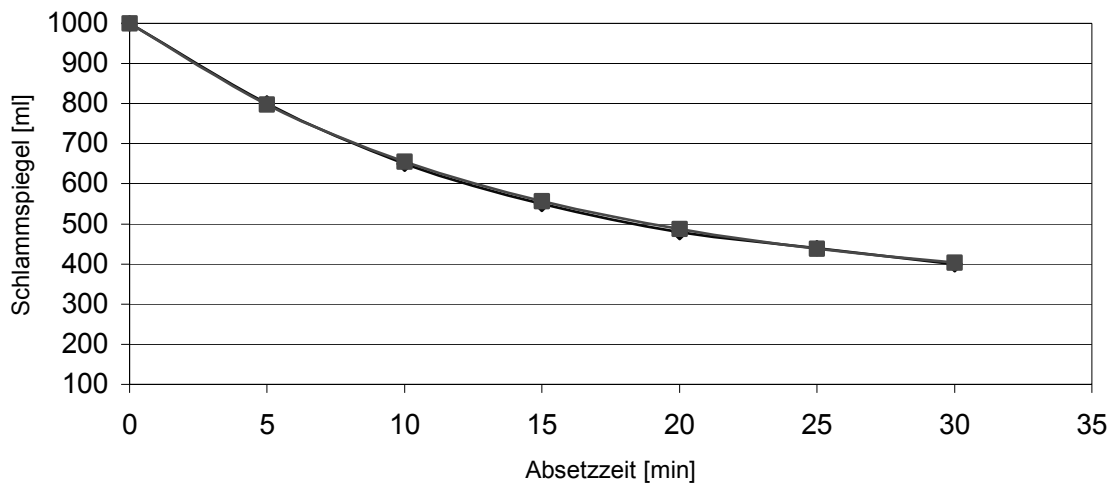
Bei Betrachtung der Absetzkurven aus den ersten Versuchen kann vermutet werden, dass diese durch eine Exponentialfunktion der Form

$$y = a \cdot e^{\frac{t}{\tau}} + b \quad (\text{Gleichung 6})$$

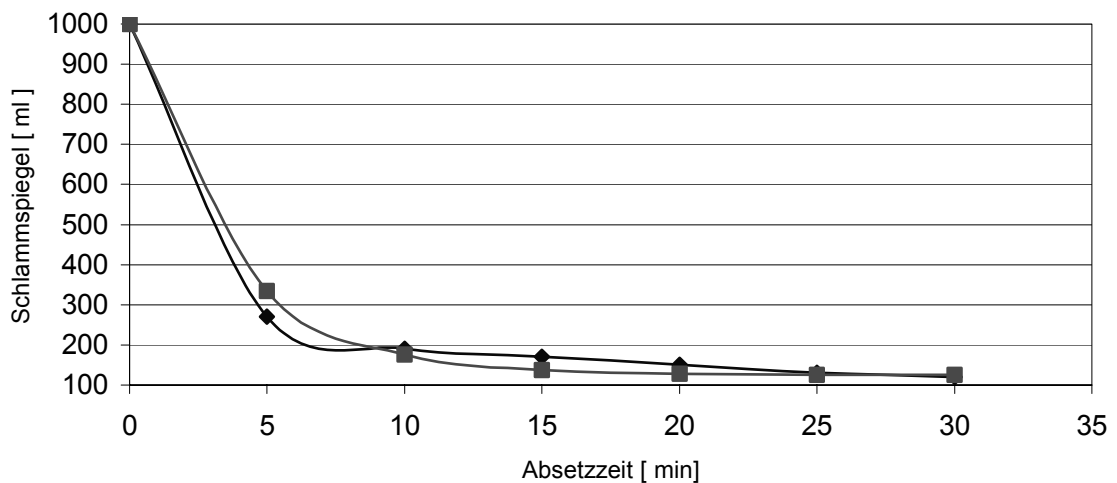
angenähert werden können. Durch Annäherungsversuche mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel wurde folgende Gleichungsform als geeignet empfunden:

$$\varphi_{S, \text{behandelt}} = (1000 \text{ ml} - \varphi_{S, \text{unbeh.}} + A) \cdot e^{\frac{-t}{B}} + (\varphi_{S, \text{unbeh.}} - A) \quad (\text{Gleichung 7})$$

Über Variation der Faktoren A und B wurde versucht die jeweiligen Absetzkurven möglichst exakt anzunähern, mit dem gewünschten Ergebnis, für alle Versuche einen eindeutigen Trend der Faktoren gegenüber der Behandlungszeit festzustellen.



—◆— Versuch 4: 3. behandelter Klärschlamm $t_B = 40$ s —■— Annäherung



—◆— Versuch 4: 3. behandelter Klärschlamm $t_B = 40$ s —■— Annäherung

Diagramm 4-5: Annäherung der Absetzkurven bei 40 s beschalltem Schlamm; oben: Versuch 2, ARA Dillingen, 30.07.2002; unten Versuch 7, ARA Holzheim, 08.08.2002

Die Formeln für die jeweiligen Annäherungen lauten wie folgt:

oben: $\varphi_{s, \text{behandelt}} = (1000 - 520 + 195) \cdot e^{\frac{-t}{14}} + (520 - 195)$ (Gleichung 8)

unten: $\varphi_{s, \text{behandelt}} = (1000 - 210 + 85) \cdot e^{\frac{-t}{3,5}} + (210 - 85)$ (Gleichung 9)

Wie bei den beiden Diagrammen zu erkennen ist, ist die Annäherung über eine derartige Exponentialfunktion nur in wenigen Fällen exakt durchführbar. Der obere Graph zeigt eine ideale Annäherung, der untere weicht in seinem Verlauf von einer idealen Exponentialfunktion ab. Zum Teil sind die Abweichungen bei den anderen Absatzkurven noch gravierender.

Die Absatzkurven aus den Versuchen wurden trotzdem so gut als möglich angenähert, um einen eventuellen Trend in der Entwicklung der Annäherungsfaktoren zu erkennen. Ein derartiges eindeutiges Verhalten der Faktoren konnte aber nicht festgestellt werden.

5 Diskussion der Versuchsdurchführung und –ergebnisse

5.1 Auswahl der Abwasserreinigungsanlagen

Die untersuchten Abwasserreinigungsanlagen zeigen einen Querschnitt über unterschiedliche Ausbaugrößen von Kleinanlagen mit 2.000 EW bis hin zu großen Anlagen mit bis zu 600.000 EW. Die Auswahl kann für das Ziel dieser Diplomarbeit als gut betrachtet werden. Es wurde aufgezeigt, dass sowohl bei kleinen Anlagen mit nahezu 100 % häuslichem Abwasser, aber auch bei großen Anlagen mit industriell stärker belasteten Abwässern und damit einer anderen Schlammstruktur die Ultraschallbehandlung ab einem Schlammindex über 70 ml/g positive Auswirkungen auf das Absetzverhalten hat.

Interessant wäre hier eine weitere Untersuchung bezüglich Einsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Behandlung auf den unterschiedlich großen Kläranlagen evtl. im Großversuch. Im Anschluss daran könnten dann genauere Analysen über den Einsatz der Ultraschallbehandlung zur Verbesserung des Absetzverhaltens auf Basis der gewonnenen Aussagen durchgeführt werden.

5.2 Auswahl der Beschallungszeiten

Die Auswahl der Beschallungszeiten der Klärschlammprobe auf Basis der Testversuche auf der Kläranlage in Dillingen a. d. Donau vom 23. und 24.07.2002 können grundsätzlich für den verwendeten Ultraschallgeber als sinnvoll angegeben werden. Die Testversuche haben ergeben, dass eine Behandlungszeit über 60 s keine wesentliche Verbesserung des Absetzverhaltens mit sich bringt.

Nach Auswertung aller durchgeführten Untersuchungen und Betrachtung der Absetzkurven muss diese Aussage jedoch etwas relativiert werden. Es ist zu erwarten, dass bei anderen Schlammzusammensetzungen dennoch ein weiterer, besserer Effekt bei längerer Beschallungszeit eintritt. Fraglich ist hier aber, ob diese Verbesserung dann durch den höheren Energiebedarf trotzdem in einem wirtschaftlichen Kosten – Nutzen – Verhältnis steht.

Weiterhin muss natürlich bei höheren Beschallungszeiten darauf geachtet werden, dass es zu keiner vollständigen Zerstörung der im Schlamm enthaltenen Mikroorganismen und Bakterien kommt, da sonst die Reinigungsleistung der Anlage verringert wird.

Die Untergrenze der Behandlungszeit, zehn Sekunden, kann dagegen als ausreichend beurteilt werden. Geringere Beschallungszeiten dürften zu keinem befriedigenden Ergebnis führen.

5.3 Auswahl der Probenahmestelle

Als Probenahmestelle wurde auf allen Kläranlagen der Ablauf aus den Belebungsbecken gewählt. Ziel der Diplomarbeit war die Untersuchung des Absetzverhalten des fertig gereinigten Abwasser-Schlamm Gemischs im Nachklärbecken. Damit kommt in erster Linie eine Ultraschallbehandlung des aus dem Belebungsbecken abfließenden Schlamms in Betracht. Diese Verfahrensvariante wurde demnach mit der gewählten Probenahmestelle simuliert.

Als weitere Verfahrensvariante kommt auch eine Ultraschallbehandlung des Rücklaufschlamms aus dem Nachklärbecken in Frage (s. Kap. 6.2). Für eine Betrachtung des Absetzverhaltens, das die Absetzbarkeit des Schlamms im Nachklärbecken charakterisiert, wäre aber ein derartiger Versuch nicht repräsentativ. Der beschallte Rücklaufschlamm durchläuft zuerst die Belebungsstufe, bevor er wieder zur Nachklärung gelangt. Dieser Durchlauf verändert wiederum das Absetzverhalten. Der Veränderungsprozess kann aber im Labormaßstab nicht dargestellt werden, wodurch für eine derartige Untersuchung andere Annahmen und Bedingungen getroffen werden müssen.

5.4 Verbesserung des Absetzverhaltens

Die Auswertung der Versuche zeigt, dass bei einer Ultraschallbehandlung von Schlämmen mit einem Schlammindeix größer als 70 ml/g ein deutlich besseres Absetzverhalten zu erwarten ist. Dadurch, dass der Zeitraum für die Versuchsdurchführung der Diplomarbeit in den Sommermonaten lag hatte keine der untersuchten Kläranlagen aktuelle Probleme mit Bläh- bzw. Schwimmschlämmen. Es

wurde aber aus den Versuchen dennoch offensichtlich, dass sich, je höher der Schlammindeks bzw. das Schlammvolumen ist, die Ultraschallbehandlung stärker auf das Absetzverhalten der Anlage auswirkt.

Die größten Erfolge wurden mit einer Beschallung von 60 s erreicht. Die Verbesserung der Sedimentationseigenschaften lag hier bei den untersuchten Schlämmen bei bis zu 44 % gegenüber dem unbehandelten Schlamm. Der schlechteste Wert lag bei 15 % Verbesserung. Bei den geringeren Beschallungszeiten konnten zwar auch gute Erfolge mit maximal 33 % Verbesserung erzielt werden, wobei bei einigen Anlagen die Verbesserung nur bei 5 % lag. Daraus lässt sich ableiten, dass man keine spezifische Behandlungszeit als geeignet oder ungeeignet bezeichnen kann. Die wirtschaftlich passende Dauer der Beschallung muss daher für jede Anlage im Versuch bestimmt werden. Bei zu langen Beschallungszeiten steht der Energieeintrag nicht mehr im Verhältnis zum Nutzen und bei zu geringen Zeiten ist kein spürbarer Verbesserungseffekt vorhanden.

Auf Anlagen, deren Schlamm sich sehr gut absetzt, ist eine derartige Behandlung nicht erforderlich. Der Investitionsaufwand und die Betriebskosten stehen in keinem Verhältnis zu den eventuell erreichbaren sehr geringen Effekten. Falls die Ultraschallbehandlung zur Erzielung anderer Effekte (z. B. bessere Stabilisierung und mehr Gaserzeugung bei Ausfäulung) eingesetzt werden soll, müssen andere Grundvoraussetzungen (Einsatzort, Schallintensität) in die Betrachtung miteinbezogen werden. Diese Untersuchung war nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Bei fast allen Versuchen ist festzustellen, dass entweder bei einer Behandlung von 20 s oder 40 s zwar eine Verbesserung des Absetzverhaltens gegenüber dem unbehandelten Schlamm eintritt, aber gegenüber den geringer und länger beschallten Zeiten eine Verschlechterung festzustellen ist. Aus dem Versuchsablauf oder den eingesetzten Geräten heraus ist eine derartige Abweichung nicht zu erklären. Bei allen Versuchen wurde in gleicher Weise vorgegangen, die Ultraschallbehandlung identisch durchgeführt und die gleichen Geräte verwendet. Die Ursachen dazu müssen demnach im Behandlungsprozess selbst liegen. Dies ist aber aus dem vorhandenen Messdatenmaterial nicht direkt begründbar. Eine weitere Untersuchung hinsichtlich dieser Erscheinung wäre interessant.

5.5 Mikroskopisches Bild

Die Betrachtung des mikroskopischen Bildes ist für die Verdeutlichung der Wirkung des Ultraschalls im Belebtschlamm sehr aufschlussreich. Leider bestand nur auf der Kläranlage in Dillingen a. d. Donau die Möglichkeit das mikroskopische Bild aufzuzeichnen. Die anderen Anlagen hatten entweder kein Mikroskop oder keine Aufzeichnungsmöglichkeit. Von diesen Anlagen wurde jeweils eine Belebtschlammprobe mit zur ARA nach Dillingen genommen um dort zumindest den unbehandelten Schlamm mikroskopisch zu betrachten und aufzuzeichnen. Bereits aus der Betrachtung des unbeschallten Schlamms lassen sich aber Rückschlüsse auf das Absetzverhalten gewinnen bzw. wurden die vorher gemachten Vermutungen über die Schlammbeschaffenheit während der Versuche auf der jeweiligen Anlage bestätigt.

Die Aufnahmen des Belebtschlammes in Dillingen zeigen sehr deutlich die theoretisch vermuteten Auswirkungen der Ultraschallbehandlung. Die fädigen Strukturen zwischen den Schlammflocken werden bereits bei kurzen Beschallungszeiten zerstört. Es existieren aber weiterhin großvolumige und stark fädige Flocken. Erst bei längerer Beschallung werden auch die Fäden innerhalb der Flocken zerstört und es bilden sich kleinere und kompaktere Schlammflocken.

Am Okular des Mikroskops war dieser Effekt noch deutlicher zu erkennen als auf den beigefügten Videoaufnahmen zu sehen ist.

5.6 Chemische Analyse des Überstandswassers

Wie anhand der Messergebnisse der zweiten chemischen Analyse (s. Kap. 4.4) zu sehen ist, ist der starke Anstieg der Werte aus Analyse 1, wie zu vermuten war, hauptsächlich auf die Trübstoffe im Überstandswasser zurückzuführen. Jedoch zeigt die zweite Analyse, dass auch bei der filtrierten Probe bei optischer Reinheit zwar eine wesentlich geringere, aber immer noch deutlich erkennbarer Anstieg der Werte gegenüber der unbehandelten Probe festzustellen ist. Besonders deutlich ist der Anstieg bei der filtrierten Probe bei Ammonium (6-fach), CSB (5½ -fach) und BSB₅ (3-fach).

Dieser Anstieg der Messwerte könnte auf einen stattfindenden Zellaufschluss hindeuten. Die Probenahmestelle ist am Ende der Nitrifikationsstufe, also dem belüfteten Teil des Belebungsbeckens. In diesem Abschnitt wird Ammonium zu Nitrit und Nitrat mit Hilfe von Bakterien umgewandelt. Dazu nehmen die Bakterien das Ammonium auf.

Bei den Versuchen wurde ein Zellaufschluss durchgeführt wobei Biomassebestandteile zerlegt worden sind. Durch einen dabei möglichen Zerfall oder Teilabbau von Proteinen wird vorher chemisch gebundenes Ammonium wieder frei. Dieser biochemische Umbau verläuft sehr schnell. Daher könnten die höheren Werte an Ammonium resultieren. Das freigewordene Ammonium wird dann in einer langsamer verlaufenden chemischen Reaktion zu Nitrit und Nitrat umgewandelt, was die bei diesen Verbindungen aufgetretenen nur leicht erhöhten Analysewerte widerspiegeln könnte.

Durch den Zellaufschluss werden natürlich auch noch weitere Zellbestandteile freigesetzt, die bei ihrem Abbau dann den erhöhten BSB₅- und CSB-Wert verursachen.

5.7 Versuch der mathematischen Beschreibung der Absetzkurven

Die Annäherung der Absetzkurven mittels einer fallenden Exponentialfunktion hat sich nicht als geeignet erwiesen. Die Kurven sind nicht über eine derartige Funktion mit nur zwei veränderbaren Parametern ausreichend gut anzunähern.

Es konnte auch bei nur grober Annäherung keine eindeutige Aussage über das Verhalten der beiden Faktoren in Bezug auf die vorhandene Datenbasis (TS-Gehalt, Schlammvolumen, Beschallungszeit) gewonnen werden.

Vermutlich hängt die Veränderung des Absetzverhaltens noch von einer Vielzahl anderer Parameter ab (Flockengröße, Masse und Volumen der Einzelflocken, Wassertemperatur,). Die vorhandene Datenbasis aus den Versuchsreihen hat sich daher als unzureichend herausgestellt und müsste für weitere Forschungsarbeiten in diesem Bereich erweitert werden.

6 Schlussfolgerung

6.1 Einsatz der Ultraschallbehandlung

Der Einsatz der Ultraschallbehandlung auf Kläranlagen ist zunächst mit einem Investitionsaufwand und dann natürlich mit Energiekosten zur Ultraschallerzeugung verbunden. Stellt der Einsatz von Ultraschall daher überhaupt eine wirtschaftlich interessante Variante zur Bekämpfung von Schwimm- und Blähschlamm dar? Eine gezielte Kosten-Nutzen-Rechnung an einem konkreten Projekt wäre für eine weitere Forschungsarbeit auch für die Betreiber der Kläranlagen von Interesse. Hier wird nur kurz auf mögliche Einflussfaktoren für die Kostenrechnung eingegangen.

Ein Vorteil der Ultraschallbehandlung ist, dass diese erst bei Bedarf in Betrieb genommen werden könnte. Wenn sich der Schlamm auch ohne Behandlung zufriedenstellend absetzt, würde die Ultraschallbehandlungsanlage abgeschaltet bleiben. Somit fallen für diese Zeiten keine Betriebskosten an. Die Inbetriebnahme der Ultraschallbehandlung kann im Bedarfsfall sehr rasch erfolgen. Es wird keine lange Vorbereitungszeit benötigt.

Das Ultraschallverfahren stellt eine umweltfreundliche Variante zur Problemschlammbehandlung dar. Es müssen keine zusätzlichen Hilfsstoffe oder Chemikalien zur Verbesserung des Absetzverhaltens in das Abwasser eingetragen werden. Zum Teil wird durch die Beschallung zusätzlich die Reinigungsleistung der Kläranlage verbessert, so dass bessere Ablaufwerte eingehalten und die Kläranlagen dadurch wieder in eine bessere Reinigungskategorie eingestuft werden können. Ebenso entfallen dann die Kosten für die bisher benötigten Hilfsmittel (Flockung,...).

Durch das bessere Absetzverhalten des Belebtschlammes im Nachklärbecken nach einer Ultraschallbehandlung kompaktiert der Schlamm dort besser. Das heißt das Schlammvolumen, das in das Belebungsbecken zurückgefördert werden muss, verringert sich. Dadurch kann in diesem Bereich mit weniger Pumpen und einer geringeren Pumpenleistung gefahren werden.

Der als Überschussschlamm aus dem Kreislauf ausgeschleuste Schlamm weist demzufolge ebenfalls einen höheren TS-Gehalt auf. Daher kann bei der weiteren Schlammbehandlung, falls eine weitergehende Entwässerung des Schlammes notwendig ist, mit geringerem Aufwand verfahren werden.

Durch die Ultraschallbehandlung des Belebtschlammes kann es auch zu einer besseren Stabilisierung des Schlammes im Faulbehälter und damit zu einer stärkeren Klärgasproduktion kommen. Dieser Effekt ist zwar hauptsächlich beim Einsatz hoch-energetischen Ultraschalls zur Desintegration zu verzeichnen, wobei es auch bei niederenergetischem Ultraschall, wie er für die Zerstörung der Fadenstrukturen eingesetzt wird, bereits zu einem Zellaufschluss kommt.

Diese Punkte erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern zeigen nur auf, welche Möglichkeiten beim Einsatz der Ultraschallbehandlung in Hinblick auf den Betriebsablauf und damit auch auf die entstehenden Kosten auf Kläranlagen zu beachten sind.

6.2 Einsatzort der Ultraschallbehandlung

Für den Ort auf der Kläranlage, an dem der Belebtschlamm mit Ultraschall behandelt wird, stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Konkret zur Bekämpfung von Bläh- und Schwimmschlamm kommen drei Stellen näher in Betracht:

- a) Auf dem Weg vom Belebungs- zum Nachklärbecken
- b) Beim Rücklaufschlamm vor Abzug des Überschussschlammes
- c) Beim Rücklaufschlamm nach Abzug des Überschussschlammes

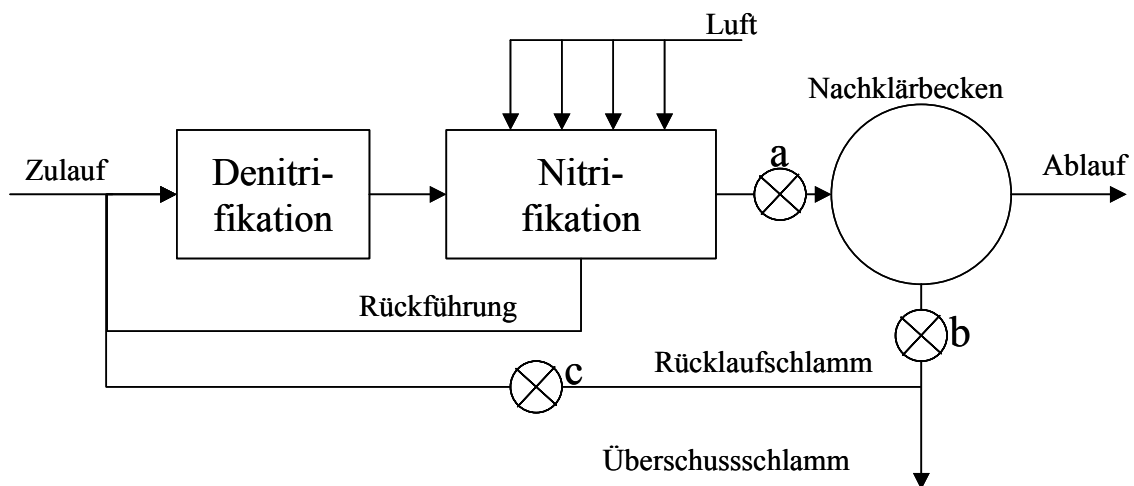


Abbildung 6-1: Mögliche Einsatzorte der Ultraschallbehandlung zur Bläh- und Schwimmschlamm-bekämpfung

Um das Absetzverhalten durch die im Belebungsbecken wachsenden Fadenbakterien im Nachklärbecken zu verbessern kommt als erstes eine Beschallung des aus dem Belebungsbecken abfließenden Schlammes in Betracht (Möglichkeit a). In dieser Weise waren auch die Versuche der vorliegenden Forschungsarbeit aufgebaut (Entnahme des zu untersuchenden Belebtschlammes am Ablauf des Belebungsbeckens). Die Ergebnisse der Versuche zeigen eine deutliche Verbesserung des Absetzverhaltens nach der Schallbehandlung. Problematisch ist aber hier, dass durch die Behandlung das Überstandswasser deutlich trüber ist als bei unbehandelten Absetzvorgängen. Durch das Zerkleinern der Schlammflocken und der fädigen Strukturen werden auch sehr kleine Schlammpartikel erzeugt, die quasi im Wasser schweben und sich nicht mehr absetzen. Damit ist der Effekt der optischen Reinheit des in den Vorfluter abgegebenen Wassers nicht gegeben. Ebenso hat eine chemische Analyse des Überstandswasser von 60 s beschalltem Schlamm am 04.09. und 02.10.2002 auf der Kläranlage in Dillingen an der Donau eine Verschlechterung der Werte bei Ammonium, Nitrat, Nitrit, Phosphor, CSB und BSB ergeben. Diese Verschlechterung der Werte entsteht hauptsächlich durch die Trübung, d.h. durch das Vorhandensein von feinsten Schlammpartikeln im Wasser. Aber auch eine Rücklösung oder das Freiwerden der Zellinhaltsstoffe aus den zerstörten Mikroorganismen beeinflusst die Messwerte.

Weiterhin werden durch die Ultraschallbehandlung auch die Zellen der Mikroorganismen aufgeschlossen und Zellorganellen werden frei. Somit kann es im Nachklärbecken, da es unbelüftet ist, bereits zu einer Denitrifikation kommen, die hier unerwünscht ist, da der freiwerdende Stickstoff die Schlammflocken zum Aufschwimmen bringen kann.

Somit ist dieser Ort zur Ultraschallbehandlung weniger geeignet. Es bietet sich daher noch die Möglichkeit an, den aus dem Nachklärbecken abgezogenen Rücklaufschlamm zu behandeln (Einsatzorte b und c).

Die sich während der Ultraschallbehandlung bildenden Kleinstpartikel, die anschließend im Überstandswasser zu der bereits erwähnten Trübung und Verschlechterung der Ablaufwerte führen werden hier beim Durchfließen der Belebungsstufe wieder an die vorhandene Schlammmatrix gebunden. Die oben angesprochene Verschlechterung der Ablaufwerte tritt hier ebenfalls nicht ein. Die Reinigungsleistung kann u. U. sogar besser werden. Die durch den Zellaufschluss freigewordenen Zellorganellen dienen den Mikroorganismen und Bakterien der i. d. R. vorgeschalteten Denitrifikation als leicht verfügbare Nährstoffe, so dass sich die Nitrat-Abbauleistung verbessern könnte.

Bei dieser Verfahrensvariante kann es aber im Belebungsbecken wieder zu einem Wachstum fadenförmiger Bakterien kommen. Dadurch, dass die entstandenen Fadenstrukturen aber bei der Behandlung des Rücklaufschlammes bereits wieder zerstört werden, dürfte dies zu keinem übermäßigen Wachstum dieser Bakterienarten führen und die Bläh- und Schwimmschlammmentstehung ist somit ebenfalls unterbunden.

Bei den Einsatzorten b und c muss zwischen den unterschiedlichen Verfahrensweisen der Kläranlagen unterschieden werden.

Bei Kläranlagen, die die Schlammstabilisierung über eine Ausfäulung im Faulbehälter betreiben, bietet sich zur Ultraschallbehandlung der Ort b an. Hier wird auch der Schlamm, der als Überschussschlamm abgezogen wird der Ultraschallbehandlung unterzogen. Durch die Zerstörung eines Teils der organischen Zellsubstanz mit Freisetzung der Zellorganellen und der Oberflächenvergrößerung durch die Flocken-

zerkleinerung erfolgt eine schnellere und bessere Stabilisierung des Faulschlamm. Ebenso wird die Ausbeute an Klärgas durch das erhöhte Nahrungsangebot für die Bakterien gesteigert.

Bei Kläranlagen mit einer Schlammstabilisierung in der Belebungsstufe erfolgt die Ultraschallbehandlung an Stelle c. Wird bei dieser Verfahrensweise auch der Überschussschlamm mit Ultraschall behandelt führt die Zerstörung der Mikroorganismen wieder zu einem Angebot an Nährstoffen im bereits stabilisierten Schlamm. Dadurch kommt es im Schlammstapelbehälter zu einer erneuten Bakterienaktivität, einer Ausfäulung des Schlamm. Es entstehen explosive Gase, die bei diesen Anlagen ohne bauliche Maßnahmen nicht abgezogen werden. Ebenso wird die Geruchsbelästigung auf der Anlage durch die entstehenden Faulgase stark erhöht.

Eine weitere Alternative stellt eine gezielte Behandlung des Schwimmschlamm dar. Die aufschwimmende Schlammschicht in Belebungs- und Nachklärbecken wird gezielt abgezogen und einer Ultraschallbehandlung unterzogen. Damit müsste nur ein geringerer Volumenstrom behandelt werden, was sich günstig auf den Energieverbrauch auswirkt. Der behandelte Schlamm kann dann entweder wieder in die Belebung zurückgeführt (bei Stabilisation im Belebungsbecken) oder direkt in den Faulbehälter eingeleitet werden. Damit ist aber nur ein Teil des Schlammproblems abgedeckt. Blähschlamm, der nicht aufschwimmt, sondern im Wasser in Schwebe bleibt und sich nicht absetzt, wird damit nicht bekämpft und führt im Nachklärbecken weiterhin zu Problemen.

6.3 Verbesserung des Entwässerungsverhaltens

Einen weiteren Vorteil könnte die Klärschlammintegration im Bereich des Entwässerungsverhaltens mit sich bringen. Durch die Zerstörung der voluminösen Schlammstruktur verbessert sich das Sedimentationsverhalten und deshalb kompaktieren die kleinen Schlammflocken besser. Das Volumen des aus dem Nachklärbecken abgezogenen Schlamm verringert sich und hat damit einen höheren TS-Gehalt.

Kommt der Schlamm aus einer Belebungsanlage mit Schlammstabilisierung kann er evtl. ohne zusätzliche Schlammmentwässerung in den Schlammstapelbehälter eingeleitet werden. Dieser Schlamm kann dann direkt in die landwirtschaftliche Verwertung abgegeben werden. Müsste der Schlamm vor Abgabe maschinell entwässert werden, dann ist in diesem Fall mit einer Energieeinsparung zu rechnen.

Wird der Schlamm in einer Faulung stabilisiert und anschließend weiter behandelt liegen durch das bessere Kompaktieren auch hier bereits höhere TS-Gehalte vor, so dass auch hier weniger Energie zur Eindickung oder Entwässerung notwendig wird.

Die angesprochenen Effekte stellen aber nur eine vermutete Folgerung aus den Untersuchungen dar und wären für eine weitergehende Untersuchung interessant.

7 Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe.

Markus Pfeifer

Augsburg, 13. November 2002

Kontakt:

Markus Pfeifer
Lessingstraße 13
89407 Dillingen

Tel.: 09071/6903
mailto: pfeifer.markus@gmx.de



8 Literaturverzeichnis

- [ATV 1] ATV-Arbeitsgruppe 3.6.1 „Klärschlammintegration“: Verfahren und Anwendungen der mechanischen Klärschlammintegration. Arbeitsbericht Teil 1. Internet: <http://www.klaerschlammdesintegration.de> vom 28.04.2002
- [ATV 2] ATV-Arbeitsgruppe 3.6.1 „Klärschlammintegration“: Vergleich und Ergebnisse der mechanischen Klärschlammintegration. Arbeitsbericht Teil 2. Internet: <http://www.klaerschlammdesintegration.de> vom 28.04.2002
- [ATV 3] Abwassertechnische Vereinigung e. V. ATV (Hrsg.): Handbuch für Ver- und Entsorger, Band 3, Fachrichtung Abwasser. 6. überarbeitete Auflage. München, 1999
- [ATV 4] Abwassertechnische Vereinigung e. V. ATV Landesverband Bayern (Hrsg.): Kläranlagen – Nachbarschaften; Fortbildung des Betriebspersonals 2002. F. Hirthammer Verlag GmbH. München, 2002
- [Billen 1998] Billen, Peter: Behandlung von Belebtschlamm mit Ultraschall. Diplomarbeit FH Augsburg. Augsburg 1998
- [Bever 1995] Bever, J; Stein, A; Teichmann, H: Weitergehende Abwasserreinigung. 3. Auflage, R. Oldenburg Verlag GmbH. München Wien, 1995
- [Eder] Eder, B.; Günthert, F.W.: Klärschlammminimierung durch Zellaufschluss mit Hilfe von Ultraschall. Internet: <http://www.uni-bw.de> vom 04.04.2002
- [Fritsche 1998] Fritsche, W.: Umwelt-Mikrobiologie: Grundlagen und Anwendungen. Gustav Fischer Verlag Jena. Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm, 1998
- [Koppe 1993] Koppe, P; Stozek, A.: Kommunales Abwasser. 3. Auflage. Vulkan Verlag. Essen, 1993
- [Lehne] Lehne, G.; Müller, J. A.: Klärschlammintegration mit Ultraschallhomogenisatoren. Internet: <http://www.tu-braunschweig.de>, Institut für mechanische Verfahrenstechnik Fachbereich Maschinenbau vom 27.04.2002
- [LfW Bayern 1999] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft LfW (Hrsg. und Verlag): Das mikroskopische Bild bei der biologischen Abwasserreinigung. Heft 1/99, 3. erweiterte und überarbeitete Auflage. München, März 1999

- [Müller] Müller, J.; Lehne, G.; Pieper, P.; Dichtl, N.: Mechanische Zerkleinerung von Bläh- und Schwimmschlämmen. Internet: <http://www.tu-braunschweig.de>, Institut für mechanische Verfahrenstechnik Fachbereich Maschinenbau vom 27.04.2002
- [Neitzel 1998] Neitzel, V.; Iske, U.: Abwasser – Technik und Kontrolle. WILEY-VCH Verlag GmbH. Weinheim, 1998
- [Nitzschmann 2002] Nitzschmann, Andrea: Ultraschall reinigt Schlamm und Abwässer. In: VDI Nachrichten, Nr. 14, 5. April 2002, S. 19
- [Rommel 2002] Rommel, Wolfgang: Klärschlamm, Gülle, Tiermehl... Aufkommen, derzeitiger Umgang, Alternativen, Tendenzen in Bayern. Vortrag bei den Bayerischen Abfall- und Deponietagen 2002 in Augsburg
- [Schmidt 1998] Schmidt, Robert: Behandlung von Belebtschlamm mit Ultraschall. Diplomarbeit FH Augsburg. Augsburg, 1998
- [Schwister 2001] Schwister, K u.a.: Taschenbuch der Verfahrenstechnik. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. München Wien, 2001
- [Streble 1988] Streble, Heinz: Das Leben im Wassertropfen. 8. Auflage. Frank'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co. Stuttgart, 1998
- [Schröter 1995] Schröter, W; Lautenschläger, K.-H.; Bibrack, H.: Taschenbuch der Chemie. 17. durchgesehene Auflage. Verlag Harri Deutsch. Thun und Frankfurt am Main, 1995

9 Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Diagramme

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Vorgeschaltete Denitrifikation [Neitzel 1998]	14
Abbildung 2-2: Bildung, Wachstum und Implosion einer Kavitationsblase im Ultraschallfeld [Brillen 1998]	15
Abbildung 3-1: Versuchsaufbau auf der Kläranlage Dillingen a. d. Donau am 25.07.2002	17
Abbildung 3-2: Ablauf des Belebungsbeckens und Probenahme auf der Kläranlage Dillingen a. d. Donau.....	18
Abbildung 4-1: Zunahme der Trübung im Überstandswasser, links in Dillingen, rechts in Günzburg jeweils v.l.n.r.: 0, 10, 20, 40 und 60 Sekunden beschallt.....	28
Abbildung 4-2: Schwimmschlammschicht (v.l.n.r.) auf dem unbelüfteten, belüfteten Belebungsbecken und dem Nachklärbecken der Kläranlage Dillingen a. d. Donau am 30.07.2002.....	29
Abbildung 4-3: Mikroskopische Aufnahmen von unbehandeltem und behandeltem Belebtschlamm, ARA Dillingen, 21.08.2002. jeweils v. l. n. r.: obere Reihe unbehandelt, 10 s behandelt; mittlere Reihe 20 s, 40 s behandelt; unten 60 s behandelt.....	34
Abbildung 4-4: Mikroskopische Aufnahme von Mikroorganismen in (v. l. n. r.) unbehandeltem, 20 s und 40 s behandeltem Schlamm	34
Abbildung 6-1: Mögliche Einsatzorte der Ultraschallbehandlung zur Bläh- und Schwimmschlammbekämpfung	47

9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Übersicht der untersuchten Abwasserreinigungsanlagen [ATV].....	25
Tabelle 4-2: Überblick über Verbesserung (+), Verschlechterung (-) bzw. Gleichbleiben (o) der Absetzeigenschaften durch die Ultraschallbehandlung gegenüber dem unbehandelten Belebtschlamm	27
Tabelle 4-3: Analyseergebnisse (in mg/l) der Überstandswasseruntersuchung von unbehandeltem und mit 60 s beschalltem Belebtschlamm auf der ARA Dillingen a. d. Donau, 04.09.2002.....	35
Tabelle 4-4: Analyseergebnisse (in mg/l) der Überstandswasseruntersuchung von unbehandeltem und mit 60 s beschalltem Belebtschlamm auf der ARA Dillingen a. d. Donau, 02.10.2002.....	36
Tabelle 9-1: Versuchsablauf ohne Aufnahme des mikroskopischen Bildes des Belebtschlammes.....	58
Tabelle 9-2: Versuchsablauf bei Aufnahme des mikroskopischen Bildes des Belebtschlammes.....	59

9.3 Diagrammverzeichnis

Diagramm 3-1: Absetzkurve des Testversuchs 1 vom 23.07.2002, ARA Dillingen a. d. Donau.....	23
Diagramm 4-1: Veränderung von Schlammvolumen und Schlammindex mit unterschiedlichen Beschallungszeiten	30
Diagramm 4-2: Absetzkurve für Versuch Nr. 2	30
Diagramm 4-3: Absetzkurven des Versuchs vom 12.08.2002 auf der Kläranlage Augsburg	32
Diagramm 4-4: Verschlechterung des Absetzverhaltens durch Beschallung auf der ARA Gundelfingen	32
Diagramm 4-5: Annäherung der Absetzkurven bei 40 s beschalltem Schlamm; oben: Versuch 2, ARA Dillingen, 30.07.2002; unten Versuch 7, ARA Holzheim, 08.08.2002	38

Anhang A: Liste der Kläranlagen

Kläranlage	Adresse	Ansprechpartner	Telefon
Augsburg	Klärwerkstraße 10 86154 Augsburg	Hr. Schwarz	(0821) 324-7750
Dillingen	ZV Donau-Stadtwerke Dillingen-Lauingen (DSDL) Regens-Wagner-Str. 8 89407 Dillingen a. d. Donau	Hr. Morloher	(09071) 3565
Günzburg	Stadtwerke Günzburg Hedenheimer Str. 4 89312 Günzburg	Hr. Stelzle	(08221) 3671810
Gundelfingen	Stadtverwaltung Gundelfingen Prof.-Bamann-Str. 22 89423 Gundelfingen	Hr. Kerler	(09073) 91990
Höchstädt	Stadtverwaltung Höchstädt Herzog-Philipp-Ludwig-Str. 10 89420 Höchstädt/Donau	Hr. Huber	(09074) 91233
Holzheim	Gemeindeverwaltung Holzheim Hochstiftstraße 2 89438 Holzheim	Hr. Czernoch	(09075) 8884
Kicklingen	ZV Donau-Stadtwerke Dillingen-Lauingen (DSDL) Regens-Wagner-Str. 8 89407 Dillingen a. d. Donau	Hr. Morloher	(09071) 3565
Lauingen	ZV Donau-Stadtwerke Dillingen-Lauingen (DSDL) Regens-Wagner-Str. 8 89407 Dillingen a. d. Donau	Hr. Morloher	(09071) 3565
Mörslingen	Gemeindeverwaltung Finningen Johann-Bösel-Str. 1 89435 Finningen	Hr. Häusler	(09074) 920609
Wertingen	Stadtverwaltung Wertingen Schulstraße 12 86637 Wertingen	Hr. Bronnhuber	(08272) 6133

Anhang B: Chemische Analyse

Die Analyse der Wasserinhaltsstoffe im Überstandswasser wurde mit einem Küvettentest der Dr. Bruno Lange GmbH & CO. KG durchgeführt. Als Analysegerät diente das Spektralphotometer Cadas 30 S. Die Wasserprobe des behandelten Belebtschlammes wurde mittels eines Faltenfilters MN 615 ¼, Durchmesser 18,5 cm der Firma Macherey-Nagel GmbH & CO. KG gefiltert.

Folgende Küvetten wurden zur Untersuchung verwendet:

Untersuchte Verbindung	Küvettentest	Messbereich
Nitrat	LCK 339	0,23 – 13,5 mg/l NO ₃ -N 1 – 60 mg/l NO ₃
Nitrit	LCK 341	0,015 – 0,6 mg/l NO ₂ -N 0,05 – 2,0 mg/l NO ₂
Ammonium	LCK 304	0,015 – 2,0 mg/l NH ₄ -N 0,05 – 2,0 mg/l NH ₄
Phosphat	LCK 348 LCK 350	0,5 – 5,0 mg/l PO ₄ -P 1,5 – 15,0 mg/l PO ₄ 2 – 20 mg/l PO ₄ -P 6 – 60 mg/l PO ₄
CSB	LCK 314 LCK 114	15 – 150 mg/l O ₂ 150 – 1000 mg/l O ₂

Anhang C: Zeitlicher Ablauf der Absetzversuche

Versuchsablauf ohne mikroskopisches Bild					
Versuch aufbauen, alle Geräte und Hilfsmittel vorbereiten, 6l KS aus dem Belebungsbecken entnehmen TS-Bestimmung durchführen, Zylinder 1 befüllen, Zeit starten					
Zeit	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4	Versuch 5
00:00		1l KS aus Behälter 1.USB, einf. bei 5			
00:05	AZW 5'		1l KS aus Behälter 2.USB, einf. bei 10		
00:10	AZW 10'	AZW 5'		1l KS aus Behälter 3. USB, einf. bei 15	
00:15	AZW 15'	AZW 10'	AZW 5'		1l KS aus Behälter 4. USB, einf. bei 20'
00:20	AZW 20'	AZW 15'	AZW 10'	AZW 5'	
00:25	AZW 25'	AZW 20'	AZW 15'	AZW 10'	AZW 5'
00:30	AZW 30'	AZW 25'	AZW 20'	AZW 15'	5.AZW 10'
00:35		AZW 30'	AZW 25'	AZW 20'	AZW 30'
00:40			AZW 30'	AZW 25'	AZW 20'
00:45				AZW 30'	AZW 25'
00:50					AZW 30'
Abkürzungen:					
AV	Absetzversuch	AZ	Absetzzyylinder		
BKS	behandelter Klärschlamm	BB	Belebungsbecken		
KS	Klärschlamm	UKS	unbehandelter Klärschlamm		
MB	mikroskopisches Bild	USB	Ultraschallbehandlung		
AZW j	abgelesener Wert am Absetzzyylinder nach angegebener Zeit j				

Tabelle 9-1: Versuchsablauf ohne Aufnahme des mikroskopischen Bildes des Belebtschlammes



Anhang C: Zeitlicher Ablauf der Versuche

Versuchsablauf mit mikroskopischem Bild					
Versuch aufbauen, alle Geräte und Hilfsmittel vorbereiten, 1,5l KS aus dem Belebungsbecken entnehmen TS-Bestimmung durchführen, Zylinder 1 befüllen, Zeit starten					
Zeit	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4	Versuch 5
00:00	MB vorbereiten				
00:05	AZW 5' MB des UKS				
00:10	AZW 10'	1l KS aus BB holen 1.USB, einf. bei 15'			
00:15	AZW 15'	MB vorbereiten			
00:20	AZW 20'	AZW 5' MB des 1.BKS			
00:25	AZW 25'	AZW 10'	1l KS aus BB holen 2.USB, einf. bei 30'		
00:30	AZW 30'	AZW 15'	MB vorbereiten		
00:35		AZW 20'	AZW 5' MB des 2.BKS		
00:40		AZW 25'	AZW 10'	1l KS aus BB holen 3. USB, einf. bei 45	
00:45		AZW 30'	AZW 15'	MB vorbereiten	
00:50			AZW 20'	AZW 5' MB des 3.BKS	
00:55			AZW 25'	AZW 10'	1l KS aus BB holen 4. USB, einf. bei 1:00
01:00			AZW 30'	AZW 15'	MB vorbereiten
01:05				AZW 20'	AZW 5' MB des 4.BKS
01:10				AZW 25'	5.AZW 10'
01:15				AZW 30'	AZW 30'
01:20					AZW 20'
01:25					AZW 25'
01:30					AZW 30'
Abkürzungen: AV Absetzversuch AZ Absetzzylinder BKS behandelter Klärschlamm BB Belebungsbecken KS Klärschlamm UKS unbehandelter Klärschlamm MB mikroskopisches Bild USB Ultraschallbehandlung AZW j abgelesener Wert am Absetzzylinder nach angegebener Zeit j					

Tabelle 9-2: Versuchsablauf bei Aufnahme des mikroskopischen Bildes des Belebtschlammes



Anhang D: Versuchsprotokoll

Versuchsnummer: _____

Datum: _____

Allgemeine Angaben zur Abwasserreinigungsanlage:

Anschrift der Anlage	Anschrift des Betreibers
Ansprechpartner	Ansprechpartner

EW (Auslegung)	Tsd.	Schlammanfall	m ³ /a
EW (tatsächlich)		BSB-Belastung	
Abwasseranfall	m ³ /a	max. Reini- gungsleistung	m ³ /a

Reinigungsverfahren



Daten der Abwasserreinigungsanlage am Versuchstag

Temperatur im Belebungsbecken: _____ °C

aktueller Zulauf zur Kläranlage: _____ m³/s

letztes Regenereignis, Menge: _____

Rückleitung von Wasser aus der Schlamm entwässerung, wann zuletzt:

Besonderheiten des zufließenden Abwassers (Industriell, häuslich, besondere Industrie,.....)

Versuch 1: unbehandelter Klärschlamm

TS-Bestimmung:

Anfangsgewicht: _____ g Endgewicht: _____ g

Aussage Personal: _____

Absetzversuch: Füllmenge 1000 ml, Abzulesender Wert: Schlamm Spiegel

5 min	ml	20 min	ml
10 min	ml	25 min	ml
15 min	ml	30 min	ml

Volumen des aufgeschwommenen Schlammes: V_{auf} = _____ ml

Videoband Nr. _____

Laufzeit: _____



Versuch 2: 1. Behandlung

Behandlungszeit: 10 s

Absetzversuch: Füllmenge 1000 ml, Abzulesender Wert: Schlamm Spiegel

5 min	ml	20 min	ml
10 min	ml	25 min	ml
15 min	ml	30 min	ml

Volumen des aufgeschwommenen Schlamms: $V_{\text{auf}} =$ _____ ml

Videoband Nr. _____

Laufzeit: _____

Versuch 3: 2. Behandlung

Behandlungszeit: 20 s

Absetzversuch: Füllmenge 1000 ml, Abzulesender Wert: Schlamm Spiegel

5 min	ml	20 min	ml
10 min	ml	25 min	ml
15 min	ml	30 min	ml

Volumen des aufgeschwommenen Schlamms: $V_{\text{auf}} =$ _____ ml

Videoband Nr. _____

Laufzeit: _____



Versuch 4: 3. Behandlung

Behandlungszeit: 40 s

Absetzversuch: Füllmenge 1000 ml, Abzulesender Wert: Schlamm Spiegel

5 min	ml	20 min	ml
10 min	ml	25 min	ml
15 min	ml	30 min	ml

Volumen des aufgeschwommenen Schlammes: V_{auf} = _____ ml

Videoband Nr. _____

Laufzeit: _____

Versuch 5: 4. Behandlung

Behandlungszeit: 60 s

Absetzversuch: Füllmenge 1000 ml, Abzulesender Wert: Schlamm Spiegel

5 min	ml	20 min	ml
10 min	ml	25 min	ml
15 min	ml	30 min	ml

Volumen des aufgeschwommenen Schlammes: V_{auf} = _____ ml

Videoband Nr. _____

Laufzeit: _____

Anhang E: Messwerttabelle

Nr	Datum	ARA	EW	TS [g/l]	Versuch	Schl.vol. [ml/l]	ISV eigen [ml/g]	ISV ARA [ml/g]	Verb. [%]
1	25.07.02	Dillingen	45.000	3,4925	1: unbehandelt	350	100,2	88	
					2: 10s beschallt	310	88,8		11,4
					3: 20s beschallt	300	85,9		14,3
					4: 40s beschallt	270	77,3		22,9
					5: 60s beschallt	260	74,4		25,7
2	30.07.02	Dillingen	45.000	3,6682	1: unbehandelt	520	141,8	107	
					2: 10s beschallt	420	114,5		19,2
					3: 20s beschallt	490	133,6		5,8
					4: 40s beschallt	400	109,0		23,1
					5: 60s beschallt	290	79,1		44,2
3	31.07.02	Kicklingen	1.000	8,9249	1: unbehandelt	960	107,6		
					2: 10s beschallt	950	106,4		
					3: 20s beschallt	960	107,6		
4	31.07.02	Kicklingen	1.000	8,9249	1: unbehandelt	140	78,4		
					3: 20s beschallt	140	78,4		
					5: 60s beschallt	150	84,0		
5	01.08.02	Lauingen	45.000	2,5197	1: unbehandelt	200	79,4	95	
					2: 10s beschallt	200	79,4		0,0
					3: 20s beschallt	190	75,4		5,0
					4: 40s beschallt	180	71,4		10,0
					5: 60s beschallt	170	67,5		15,0
6	05.08.02	Gundelfingen	25.000	3,5359	1: unbehandelt	90	25,5	35	
					2: 10s beschallt	100	28,3		-11,1
					3: 20s beschallt	100	28,3		-11,1
					4: 40s beschallt	100	28,3		-11,1
					5: 60s beschallt	110	31,1		-22,2
7	08.08.02	Holzheim	3.600	2,1064	1: unbehandelt	210	99,7		
					2: 10s beschallt	190	90,2		9,5
					3: 20s beschallt	140	66,5		33,3
					4: 40s beschallt	120	57,0		42,9
					5: 60s beschallt	120	57,0		42,9
8	12.08.02	Augsburg Straße 1	600.000	1,881	1: unbehandelt	180	95,9	67	
					2: 10s beschallt	190	101,2		-5,6
					3: 20s beschallt	200	106,6		-11,1
					4: 40s beschallt	180	95,9		0,0
					5: 60s beschallt	180	95,9		0,0
9	13.08.02	Höchstädt BB 2 (N)	15.000	3,0526	1: unbehandelt	670	219,5	120	
					2: 10s beschallt	560	183,4		16,4
					3: 20s beschallt	570	186,7		14,9
					4: 40s beschallt	530	173,6		20,9
					5: 60s beschallt	470	154,0		29,9



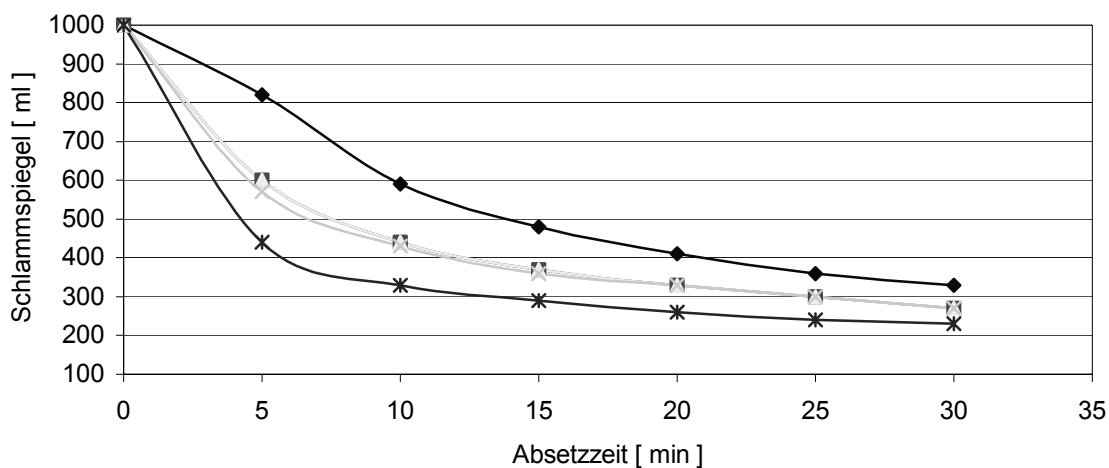
Anhang E: Messwerttabelle

10	13.08.02Höchstädt BB 1(S)	15.000	2,58181: unbehandelt	710	275,0	107	
			2: 10s beschallt	570	220,8		19,7
			3: 20s beschallt	690	267,3		2,8
			4: 40s beschallt	570	220,8		19,7
			5: 60s beschallt	480	185,9		32,4
11	14.08.02Wertingen	24.000	4,33991: unbehandelt	550	126,7	60	
			2: 10s beschallt	380	87,6		30,9
			3: 20s beschallt	370	85,3		32,7
			4: 40s beschallt	380	87,6		30,9
			5: 60s beschallt	350	80,6		36,4
12	19.08.02Günzburg	110.000	2,11: unbehandelt	600	285,7	171	
			2: 10s beschallt	650	309,5		-8,3
			3: 20s beschallt	560	266,7		6,7
			4: 40s beschallt	420	200,0		30,0
			5: 60s beschallt	390	185,7		35,0
13	20.08.02Mörslingen	2.000	2,95691: unbehandelt	570	192,8	123	
			2: 10s beschallt	550	186,0	(vom	3,5
			3: 20s beschallt	510	172,5	19.08.)	10,5
			4: 40s beschallt	540	182,6		5,3
			5: 60s beschallt	460	155,6		19,3
14	21.08.02Dillingen	45.000	2,91891: unbehandelt	250	85,6	81	
			2: 10s beschallt	240	82,2		4,0
			3: 20s beschallt	210	71,9		16,0
			4: 40s beschallt	200	68,5		20,0
			5: 60s beschallt	200	68,5		20,0
15	04.08.02Dillingen	45.000	3,41031: unbehandelt	330	96,8	75	
			2: 10s beschallt	270	79,2		18,2
			3: 20s beschallt	300	88,0		9,1
			4: 40s beschallt	270	79,2		18,2
			5: 60s beschallt	230	67,4		30,3
16	02.10.02Dillingen	45.000	3,94121: unbehandelt	380	96,4		
			2: 10s beschallt	330	83,7		13,2
			3: 20s beschallt	340	86,3		10,5
			4: 40s beschallt	340	86,3		10,5
			5: 60s beschallt	240	60,9		36,8

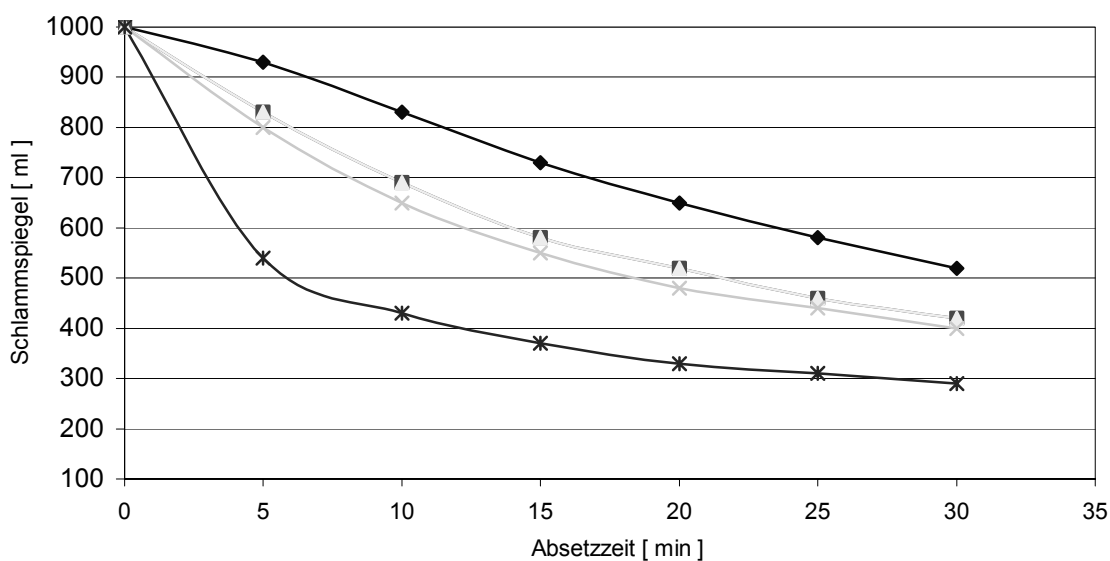
ohne Kicklingen, Augsburg und Günzburg	Max.:	44,2
	Min.:	-8,3
	Mittelw.:	19,2
	Min(10s)	-8,3
	Max(10s)	30,9
	Min(20s)	2,8
	Max(20s)	33,3
	Min(40s)	5,3
	Max(40s)	42,9
	Min(60s)	15,0
	Max(60s)	44,2

Anhang F: Absetzkurven

Versuch Nr. 15, 04.09.2002, ARA Dillingen

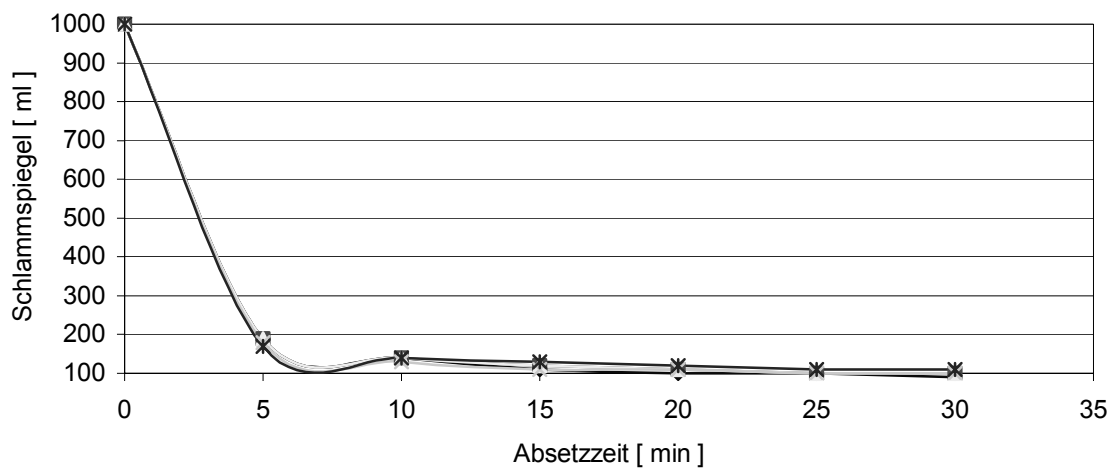


Versuch Nr. 2, 30.07.2002, ARA Dillingen

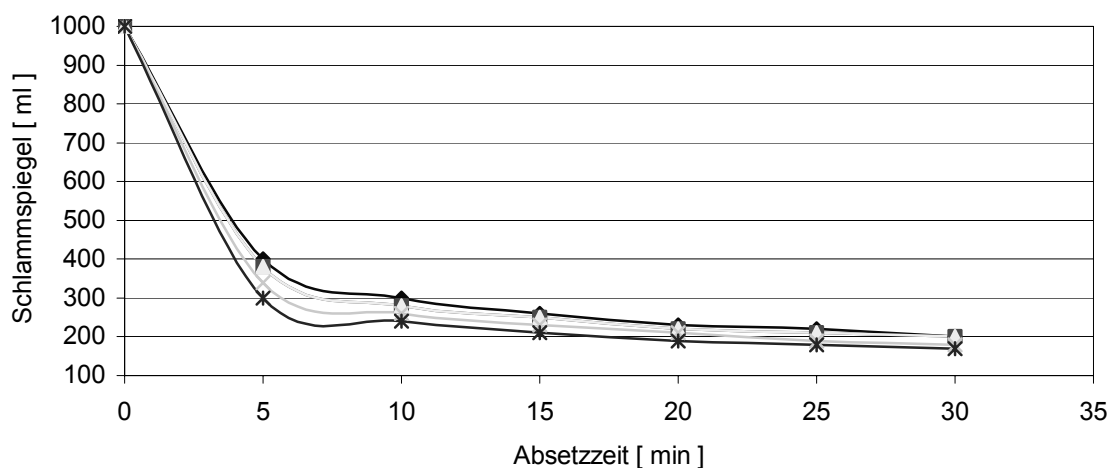


- ◆— Versuch 1: unbehandelter Klärschlamm
- Versuch 2: 1. behandelter Klärschlamm tB = 10 s
- ▲— Versuch 3: 2. behandelter Klärschlamm tB = 20 s
- ×— Versuch 4: 3. behandelter Klärschlamm tB = 40 s
- *— Versuch 5: 4. behandelter Klärschlamm tB = 60 s

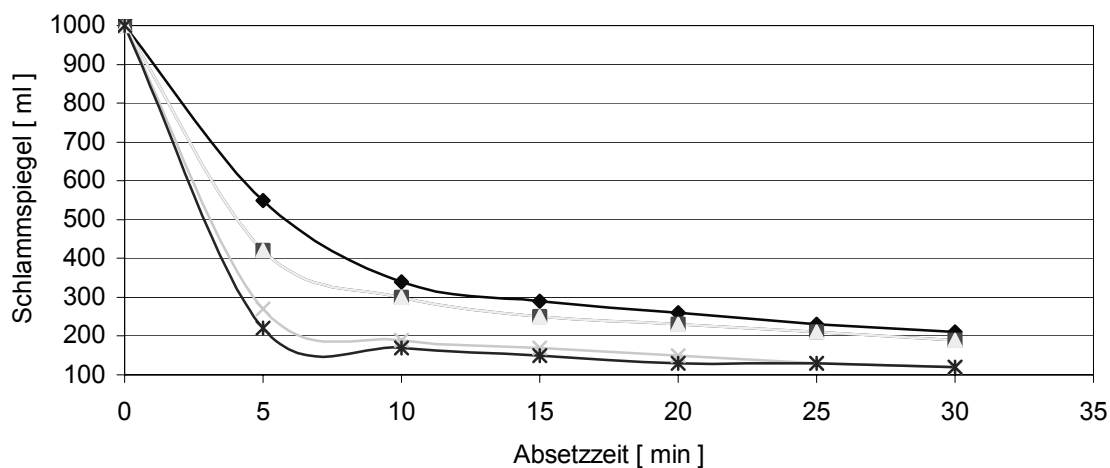
Versuch Nr. 6, 05.08.2002, ARA Gundelfingen



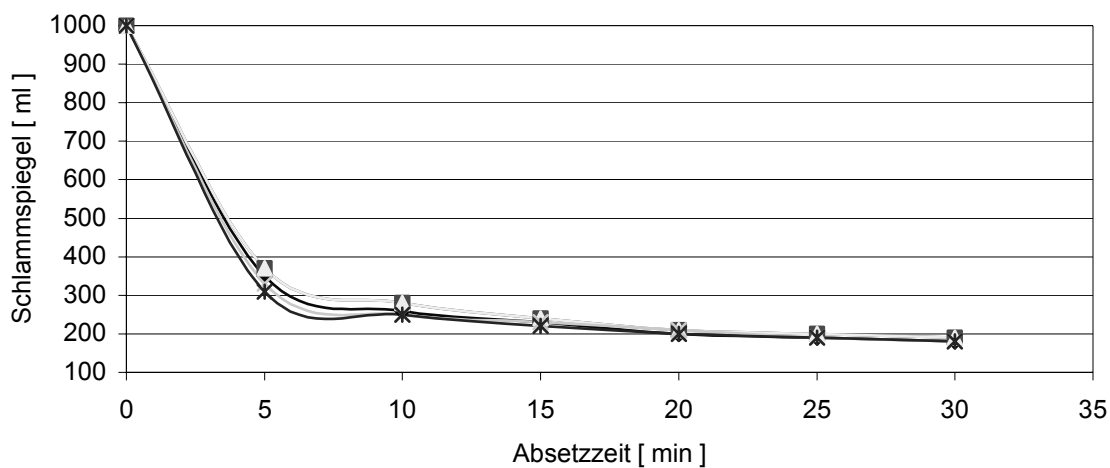
Versuch Nr. 5, 01.08.2002, ARA Lauingen



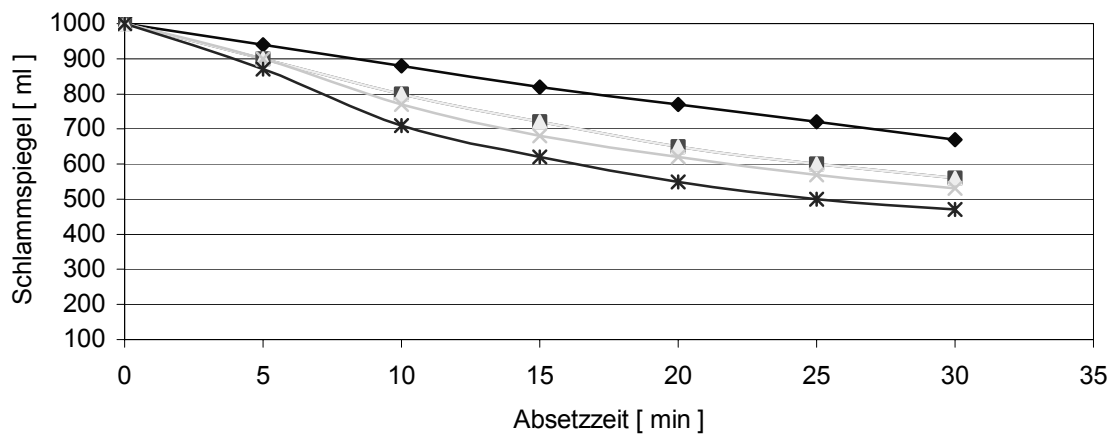
Versuch Nr. 7, 08.08.2002, ARA Holzheim



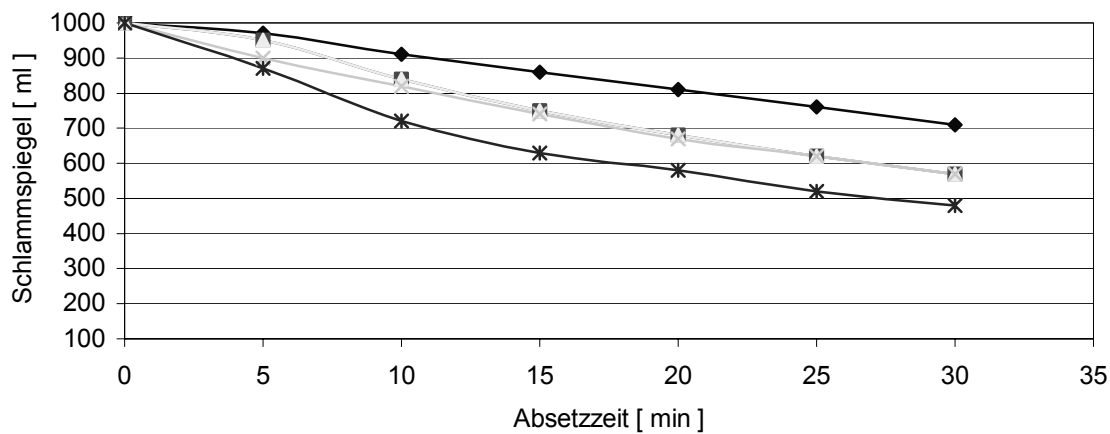
Versuch Nr. 8, 12.08.2002, ARA Augsburg



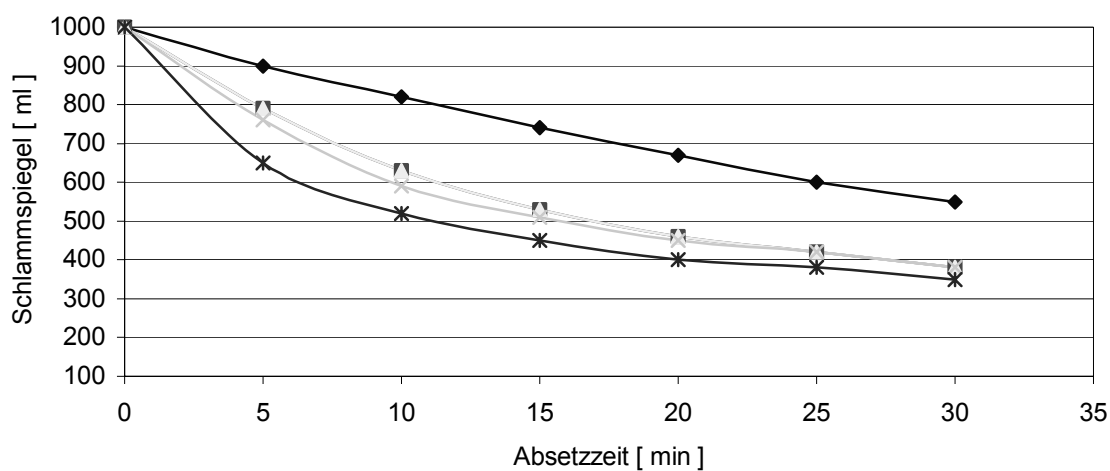
Versuch Nr. 9, 13.08.2002, ARA Höchstädt, BB Nord



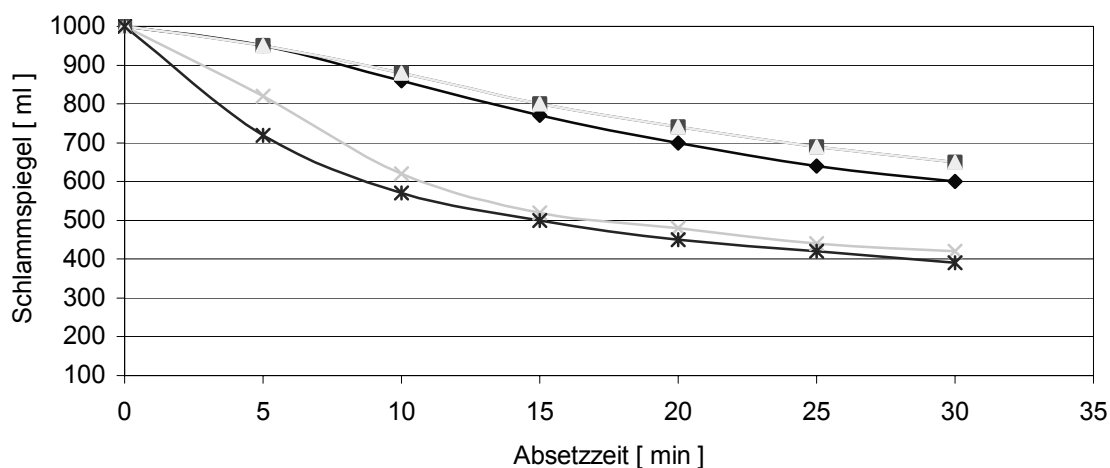
Versuch Nr. 10, 13.08.2002, ARA Höchstädt, BB Süd



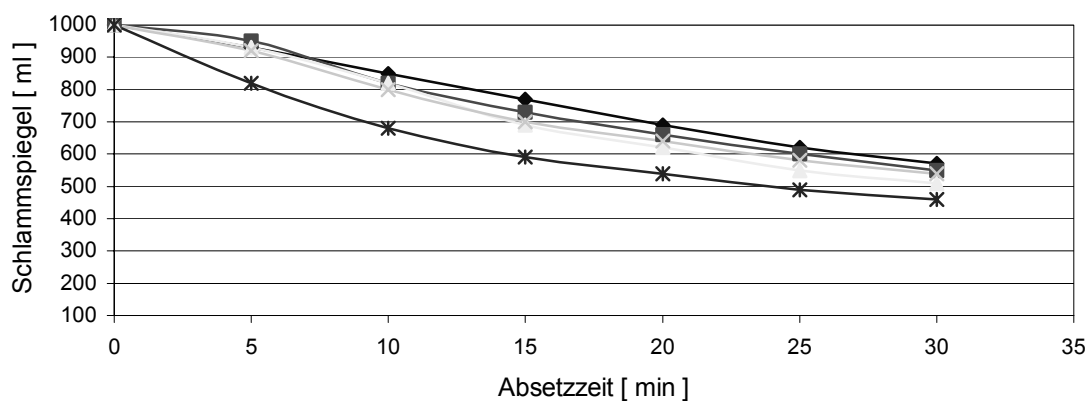
Versuch Nr. 11, 14.08.2002, ARA Wertingen



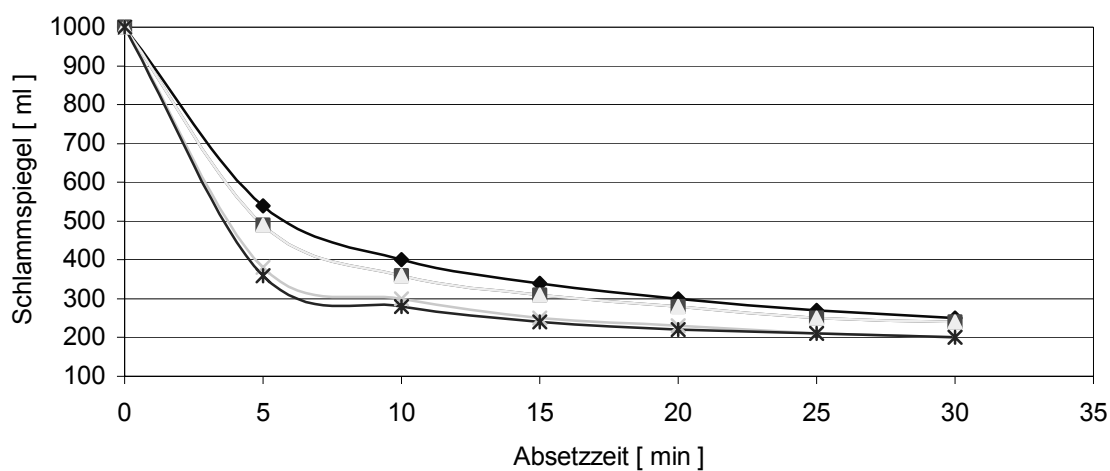
Versuch Nr. 12, 19.08.2002, ARA Günzburg



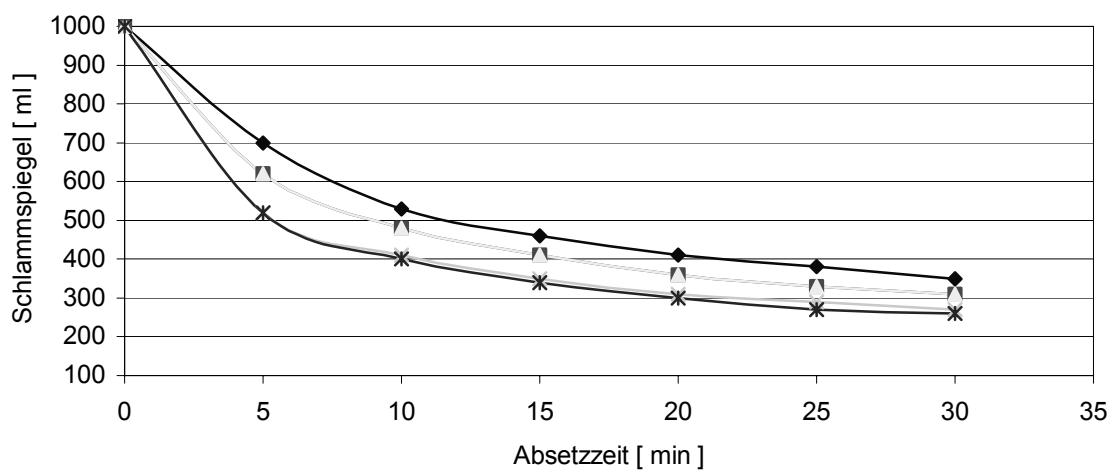
Versuch Nr. 13, 20.08.2002, ARA Mörslingen



Versuch Nr. 14, 21.08.2002, ARA Dillingen



Versuch Nr. 15, 04.09.2002, ARA Dillingen



Versuch Nr. 16, 02.10.2002, ARA Dillingen

