



# PROTOKOLL UMWELTECHNIK

## V3 - Abwasserbeschaffenheit II

Gruppe 1.2 (BCUT3)

### Teilnehmer:

Christoph Hecht  
Willy Messerschmidt  
Roman-Luca Zank

**Protokollführer:**

Roman-Luca Zank  
roman-luca.zank@stud.hs-merseburg.de

**Datum der Versuchsdurchführung:**

17.12.2019

**Abgabedatum:**

14.01.2020

Merseburg den 11. Januar 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>2</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
<b>2 Geräte und Chemikalien</b>	<b>5</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>6</b>
<b>4 Ergebnisse</b>	<b>7</b>
4.1 Sedimentationsverhalten . . . . .	7
4.2 Trockensubstanz TS . . . . .	9
4.3 Schlammvolumenindex SVI . . . . .	10
4.4 chemischer Sauerstoffbedarf CSB . . . . .	11
4.5 biologischer Sauerstoffbedarf BSB <sub>5</sub> . . . . .	11
4.6 Gegenüberstellung der Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in einen Vorfluter der GK 5 mit den Abwasserproben . . . . .	12
4.7 Gegenüberstellung der durchschnittlichen Beschaffenheit von häusli- chem Abwasser mit den Abwasserproben . . . . .	13
<b>5 Diskussion</b>	<b>15</b>
<b>6 Fehlerbetrachtung</b>	<b>19</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>20</b>

# Abbildungsverzeichnis

4.1	Sedimentationskurve für Abwasserprobe 1 . . . . .	8
4.2	Sedimentationskurve für Abwasserproben 2 und 3 . . . . .	8
4.3	Vergleich mit Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter der GK 5 für die Abwasserproben 1 bis 3 .	12
4.4	Absetzbare Stoffe der Abwasserproben 1 bis 3 . . . . .	13
4.5	Abfiltrierbare Stoffe der Abwasserproben 1 bis 3 . . . . .	14
4.6	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) der Abwasserproben 1 bis 3 . . .	14
4.7	Biochemischer Sauerstoffbedarf über 5 Tage (BSB <sub>5</sub> ) der Abwasserproben 1 bis 3 . . . . .	14
5.1	Zeitliche Phasen des Absetzvorganges . . . . .	15

# Tabellenverzeichnis

4.1	Sedimentation Messwerte . . . . .	7
4.2	Messwerte für abfiltrierbare Stoffe . . . . .	8
4.3	Messwerte für abfiltrierbare Stoffe . . . . .	9
4.4	Messwerte für organische Trockensubstanz . . . . .	10
4.5	Gerundete SVI für die Abwasserproben 1 bis 3 . . . . .	10
4.6	Messwerte für den chemischen Sauerstoffbedarf für die Abwasserproben 1 bis 3 . . . . .	11
4.7	Messwerte für den biologischen Sauerstoffbedarf über 5 Tage für die Abwasserproben 1 bis 3 . . . . .	11
4.8	Tabellarischer Vergleich der Messwerte mit den Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter der GK 5 . . . . .	12
4.9	Tabellenausschnitt zur durchschnittlichen Beschaffenheit von häuslichem Abwasser . . . . .	13
5.1	Errechnete <i>CSB-BSB<sub>5</sub></i> -Verhältnisse . . . . .	17

# 1 Aufgabenstellung

Im Versuch 3 „Abwasserbeschaffenheit II“ werden drei Abwasserproben unbekannter Herkunft über Abwasser-Feststoffuntersuchungen und Abwasser-Summenparameter analysiert. Konkret untersucht werden dafür das Sedimentationsverhalten, das Absetzvolumen (AV), abfiltrierbare Stoffe in Form der Trockensubstanz (TS), organische Trockensubstanz (oTS), der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) und der biochemische Sauerstoff über 5 Tage hinweg (BSB<sub>5</sub>).

Ziel der Auswertung, der gesammelten Messdaten, ist eine Einschätzung der Herkunft und Belastung der Abwasserproben, sowie ein Vergleich der jeweiligen Beschaffenheit mit häuslichem Abwasser und den Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in einen Vorfluter der GK 5.

Im Anschluss sind Empfehlungen zur Abwasserbehandlung zu geben.

## 2 Geräte und Chemikalien

### Geräte:

- Magnetrührer mit Rührfisch
- Bechergläser
- Erlenmeyerkolben
- Filterpapier
- IMHOFF-Trichter (1 L)
- Stoppuhr
- Trocknungswaage
- Muffelofen
- CSB-Reaktor mit Ampullen im Messbereich  $0-1500 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$
- Eppendorfpipette ( $V=2 \text{ mL}$ )
- Kolorimetrisches Messgerät für CSB
- BSB-Win2000 von NANOTEC (Differenzdruckmethode)
  - Gerätesockel mit Messeinrichtung und Rührflächen
  - volumengeeichte BSB<sub>5</sub>-Flaschen
  - computergestützte Messwerterfassung

### Proben/Chemikalien:

- destilliertes Wasser
- Abwasserproben 1, 2 & 3
- forgefertigte CSB-Ampullen
- 1 mL vorbereitete Nährstoff-Ersatzlösung für 300 mL Probe
- 2 x Dosiereinheiten Nitrifikationshemmer für 300 mL Probe
- Schliffett
- 2 x NaOH-Plätzchen

# 3 Durchführung

Im ersten Versuchsteil werden die drei Proben mittels Abwasser-Feststoffuntersuchungen, sprich über das Sedimentationsverhalten, das Absetzvolumen (AV), die abfiltrierbaren Stoffe in Form der Trockensubstanz (TS) und der organischen Trockensubstanz (oTS), analysiert. In allen Versuchsteilabschnitten werden die Proben zuvor durch Schütteln homogenisiert.

Die Bestimmung des Sedimentationsverhaltens erfolgt durch einfüllen der drei Proben in je einen Imhoff-Trichter. Es wird periodisch die Lage der Trennschicht abgelesen, welche sich zwischen der klaren und der Schwebstoffphase ausbildet. Die Werte wurden 10 mal minütlich und danach alle 5 Minuten aufgenommen. Der letzte Wert wird nach insgesamt 30 Minuten abgelesen und ist gleichzeitig das Absetzvolumen.

Die Trockensubstanz wird durch Abfiltrieren einer bestimmten Probenmenge bestimmt. Vorher muss das verwendete Filterpapier getrocknet und eingewogen werden. Der erhaltene Filterkuchen wird auf dem Filterpapier bei 105 °C getrocknet und zuletzt gewogen.

Die Bestimmung des organischen Anteils an der Trockensubstanz erfolgt analog der DIN 38409. Der zuvor erhaltene Filterkuchen wird 2 Stunden lang bei 550 °C verascht.

Im zweiten Versuchsteil werden die Proben über die Abwasser-Summenparameter in Form des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) und des biochemischen Sauerstoffbedarfs über 5 Tage (BSB<sub>5</sub>) untersucht.

Der chemische Sauerstoffbedarf wird mittels CSB-Testampulle bestimmt. Die Ampullen wurden mit den zu untersuchenden Proben befüllt, geschüttelt und in den vorgewärmten CSB-Reaktor zur Inkubation eingelegt und darin für 2 Stunden belassen. Auf den Deckeln der Proben ist der Inhalt zu beschriften. Es muss eine sinnvolle Verdünnung der Probe gewählt werden. In diesem Falle wurde für die Probe 1 ein hoher CSB erwartet, darum wurde die Probe 1 im Verhältnis 1:1 mit Wasser gemischt. Die eigentliche Analyse wurde mit Hilfe des HACH-Messgerätes entsprechend der Betriebsanweisung durchgeführt.

Die Vorbereitung der Proben für die Ermittlung des biochemischen Sauerstoffbedarfes beginnt mit der Befüllung der Analyseflaschen. In diese wurden je ein Magnetührstäbchen, 10 mL vorbereitete Nährstofflösung und 2 Dosiereinheiten Nitrifikationshemmer gegeben bevor die eigentliche Wasserprobe hinzugegeben wurde. Der eingelegte Dichtkörper wurde in jeder Flasche mit je 2 Plättchen Natriumhydroxid bestückt. Die Dichtung des Deckels muss mit etwas Schliff fett bestrichen werden bevor er handfest aufgeschraubt wird. Anschließend werden die Analyseflaschen in den Messschrank auf Magnetührplatten gestellt und an die innenliegenden Schläuche angeschlossen. Der Name des genutzten manometrischen Messsystems der Firma NANOTEC lautet BSB-Win2000. Der BSB wird über einen Zeitraum von 5 Tagen mittels der Differenzdruckmethode bestimmt.

## 4 Ergebnisse

Im folgenden Protokollabschnitt werden die Versuchsergebnisse der Versuchsdurchführung präsentiert.

### 4.1 Sedimentationsverhalten

Im Folgenden sind die Messwerte und die dazugehörigen Graphen zum Sedimentationsverhalten in Tabelle 4.1 und in den Abbildungen 4.1 und 4.2 dargestellt. Das Absetzvolumen nach 30min ist in den Graphen mittels einer waagrecht verlaufenden, gestrichelten Linie angedeutet.

Tab. 4.1: Sedimentation Messwerte

Zeit [s]	Probe 1 [mL]	Probe 2 [mL]	Probe 3 [mL]
0	1000	0,00	0,00
1	800	0,10	0,10
2	750	0,25	0,20
3	700	0,30	0,30
4	550	0,40	0,40
5	450	0,50	0,50
6	400	0,50	0,50
7	350	0,50	1,00
8	350	0,50	1,70
9	300	0,60	2,00
10	300	1,00	2,00
15	250	1,50	3,00
20	250	1,50	3,50
25	225	1,90	4,00
30	210	2,00	4,00



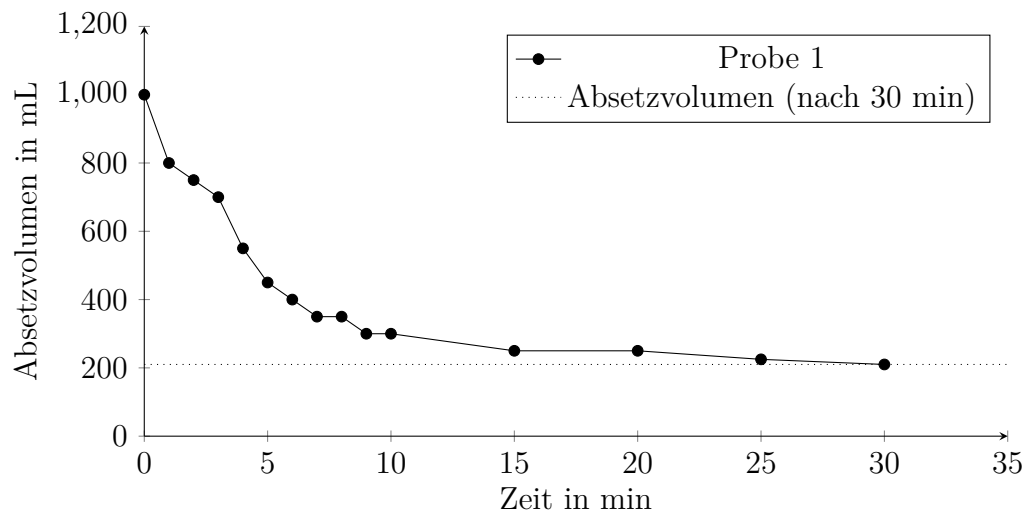


Abb. 4.1: Sedimentationskurve für Abwasserprobe 1

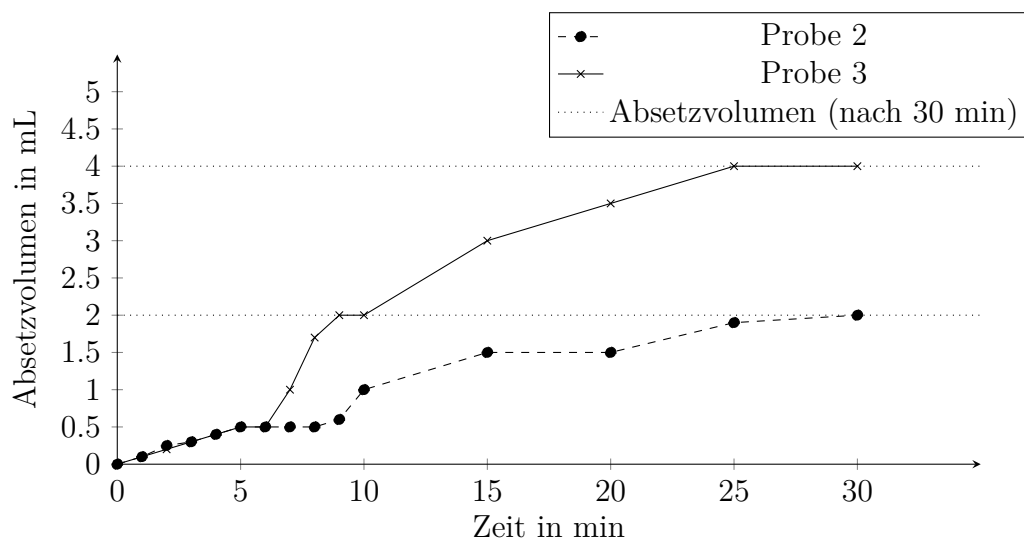


Abb. 4.2: Sedimentationskurve für Abwasserproben 2 und 3

## Absetzvolumen

Tab. 4.2: Messwerte für abfiltrierbare Stoffe

	Probe 1 $\left[\frac{\text{mL}}{\text{L}}\right]$	Probe 2 $\left[\frac{\text{mL}}{\text{L}}\right]$	Probe 3 $\left[\frac{\text{mL}}{\text{L}}\right]$
Absetzvolumen (nach 30 min)	210	2	4

## 4.2 Trockensubstanz TS

Beispielrechnung für Probe 1

$$m_{\text{Filterkuchen}} = m_{\text{Filterkuchen+Filter}} - m_{\text{Filter (trocken)}} \quad (4.1)$$

$$m_{\text{Filterkuchen},1} = 0,611 \text{ g} - 0,487 \text{ g} \quad (4.2)$$

$$= \underline{0,124 \text{ g}} \quad (4.3)$$

$$c_{\text{filtrierbar}} = \frac{m_{\text{Filterkuchen}}}{V_{\text{Probe}}} \quad (4.4)$$

$$c_{\text{filtrierbar},1} = \frac{m_{\text{Filterkuchen},1}}{V_{\text{Probe 1}}} \quad (4.5)$$

$$= \frac{0,124 \text{ g}}{94 \text{ mL}} \quad (4.6)$$

$$= 0,001\,319\,148\,9 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \approx \underline{\underline{1,32 \frac{\text{g}}{\text{L}}}} \quad (4.7)$$

Tab. 4.3: Messwerte für abfiltrierbare Stoffe

	Maßeinheit	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Probenvolumen	[mL]	94	300	100
Masse Filter (trocken)	[g]	0,487	0,465	0,497
Masse Filterkuchen + Filter	[g]	0,611	0,528	0,506
Masse Filterkuchen	[g]	0,124	0,063	0,009
Konzentration abfiltrierbare Stoffe	$\frac{\text{g}}{\text{L}}$	1,32	0,21	0,09

## organische Trockensubstanz oTS

Beispielrechnung für Probe 1

$$m_{\text{Filter,Glüh}} = m_{\text{Filter+Tiegel}} - m_{\text{Tiegel}} \quad (4.8)$$

$$= 35,7126 \text{ g} - 35,714 \text{ g} \quad (4.9)$$

$$= \underline{0,0014 \text{ g}} \quad (4.10)$$

$$m_{\text{oTS}} = m_{\text{Filterkuchen}} - (m_{\text{Tiegel+Probe}} - m_{\text{Tiegel}}) - m_{\text{Filter,Glüh}} \quad (4.11)$$

$$m_{\text{oTS},1} = 0,124 \text{ g} - (33,2209 \text{ g} - 33,2023 \text{ g}) - 0,0014 \text{ g} \quad (4.12)$$

$$= \underline{0,104 \text{ g}} \quad (4.13)$$

$$c_{\text{oTS}} = \frac{m_{\text{oTS}}}{V_{\text{Probe}}} \quad (4.14)$$

$$c_{\text{oTS},1} = \frac{0,104 \text{ g}}{94 \text{ mL}} \quad (4.15)$$

$$= 0,001\,106 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \approx \underline{\underline{1106 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}} \quad (4.16)$$

$$w_{oTS} = \frac{m_{oTS}}{m_{Filterkuchen}} \quad (4.17)$$

$$w_{oTS,1} = \frac{m_{oTS,1}}{m_{Filterkuchen}} \quad (4.18)$$

$$= \frac{0,104 \text{ g}}{0,124 \text{ g}} \quad (4.19)$$

$$\approx \underline{\underline{84\%}} \quad (4.20)$$

Tab. 4.4: Messwerte für organische Trockensubstanz

	Maßeinheit	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Probenvolumen	[mL]	94	300	100
Masser Filter (verglüht)	[mg]	0,0014 g	0,0014 g	0,0014 g
Masse Tiegel (leer)	[g]	33,2023	31,0858	34,0671
Masse Tiegel (voll)	[g]	33,2209	31,1029	34,0713
Masse oTS	[g]	0,104	0,106	0,118
Konzentration oTS	$\left[\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right]$	1106	352	1184
Massenanteil oTS an TS	[%]	84	85	95

## 4.3 Schlammvolumenindex SVI

Beispielrechnung für Probe 1

$$SVI = \frac{\varphi_{\text{Absetzvolumen nach 30 min}}}{c_{\text{filtrierbar}}} \quad (4.21)$$

$$SVI_1 = \frac{\varphi_{\text{Absetzvolumen nach 30 min,1}}}{c_{\text{filtrierbar,1}}} \quad (4.22)$$

$$= \frac{210 \frac{\text{mL}}{\text{L}}}{1319 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \quad (4.23)$$

$$= 0,1592 \frac{\text{mL}}{\text{mg}} \approx \underline{\underline{160 \frac{\text{mL}}{\text{g}}}} \quad (4.24)$$

Tab. 4.5: Gerundete SVI für die Abwasserproben 1 bis 3

	Probe 1 $\left[\frac{\text{mL}}{\text{g}}\right]$	Probe 2 $\left[\frac{\text{mL}}{\text{g}}\right]$	Probe 3 $\left[\frac{\text{mL}}{\text{g}}\right]$
<b>SVI</b>	160	10	44

## 4.4 chemischer Sauerstoffbedarf CSB

Nachfolgend ist die Berechnung des CSB für die Abwasserprobe 1 aufgeführt, da diese als einzige verdünnt analysiert wurde. Die Verdünnung der Probe mit destilliertem Wasser betrug 1:1. Die CSB-Messampullen wurden für einen Messbereich von 0-1500 mg/l gewählt. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 4.6 dargestellt.

$$\frac{c_{\text{Probe 1}}}{c_{\text{Probe 1 (verdünnt)}}} = \frac{2}{1} \quad (4.25)$$

$$c_{\text{Probe 1}} = 2 \cdot c_{\text{Probe 1 (verdünnt)}} \quad (4.26)$$

$$= 2 \cdot 575 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad (4.27)$$

$$= \underline{\underline{1150 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}} \quad (4.28)$$

Tab. 4.6: Messwerte für den chemischen Sauerstoffbedarf für die Abwasserproben 1 bis 3

	Probe 1 (verdünnt)	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	Probe 1	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	Probe 2	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	Probe 3	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$
<b>CSB</b>	575		1150		486		221	

## 4.5 biologischer Sauerstoffbedarf BSB<sub>5</sub>

Als Messbereich für Probe 1 und 2 wurde 0-700  $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$  gewählt. Das Probenvolumen lag jeweils bei 95 mL. Für Probe 3 wurde aufgrund des niedriger zu erwartenden BSB<sub>5</sub> der nächst geringere Messbereich von 0-350  $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$  verwendet. Das Probenvolumen lag für Probe 3 bei 160 mL. Die für die Messbereiche geforderten Volumina sind der Tabelle unter [2, S.22] entnommen worden.

Die Messwerte zum BSB<sub>5</sub> für die Abwasserproben 1 und 3 sind in Tabelle 4.7 aufgeführt.

Tab. 4.7: Messwerte für den biologischen Sauerstoffbedarf über 5 Tage für die Abwasserproben 1 bis 3

	Probe 1	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	Probe 2	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	Probe 3	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$
<b>BSB<sub>5</sub></b>	254		252		50	

## 4.6 Gegenüberstellung der Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in einen Vorfluter der GK 5 mit den Abwasserproben

Die Referenzwerte der Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter der Größenklasse 5 sind im Anhang von [2, S. 29] zu finden.

Tab. 4.8: Tabellarischer Vergleich der Messwerte mit den Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter der GK 5

	$CSB$ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right]$	$BSB_5$ $\left[\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right]$
<b>Grenzwert</b>	<b>75</b>	<b>15</b>
Probe 1	575	254
Probe 2	486	252
Probe 3	221	50

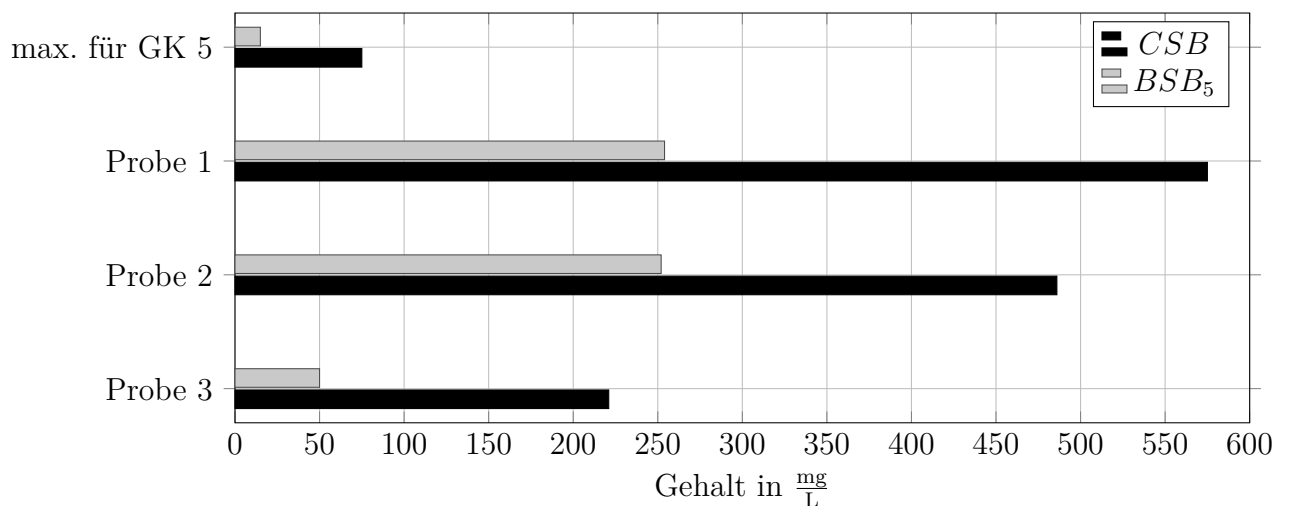


Abb. 4.3: Vergleich mit Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter der GK 5 für die Abwasserproben 1 bis 3

## 4.7 Gegenüberstellung der durchschnittlichen Beschaffenheit von häuslichem Abwasser mit den Abwasserproben

Um die Messwerte des Versuches mit häuslichem Abwasser gegenüberzustellen wird die Tabelle Tab. 4.9 (siehe [2, S. 29]) genutzt. Die Messwerte zu den folgenden Graphen finden sich in den Tabellen 4.2, 4.3, 4.6 und 4.7 wieder.

Tab. 4.9: Tabellenausschnitt zur durchschnittlichen Beschaffenheit von häuslichem Abwasser [2, S. 29]

Kriterium	Maßeinheit	Belastungsgrad		
		gering	mittel	stark
Absetzbare Stoffe	$\frac{\text{mL}}{\text{L}}$	2	6	12
Abfiltrierbare Stoffe	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	200	500	900
<i>CSB</i>	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	300	600	1000
<i>BSB<sub>5</sub></i>	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	150	300	500

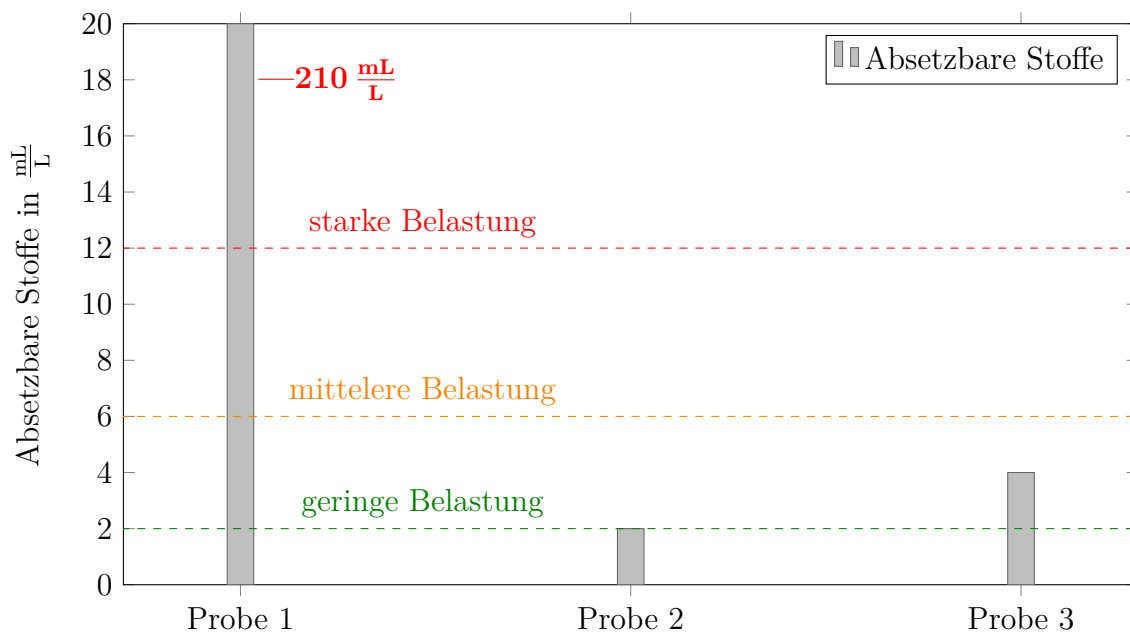


Abb. 4.4: Absetzbare Stoffe der Abwasserproben 1 bis 3

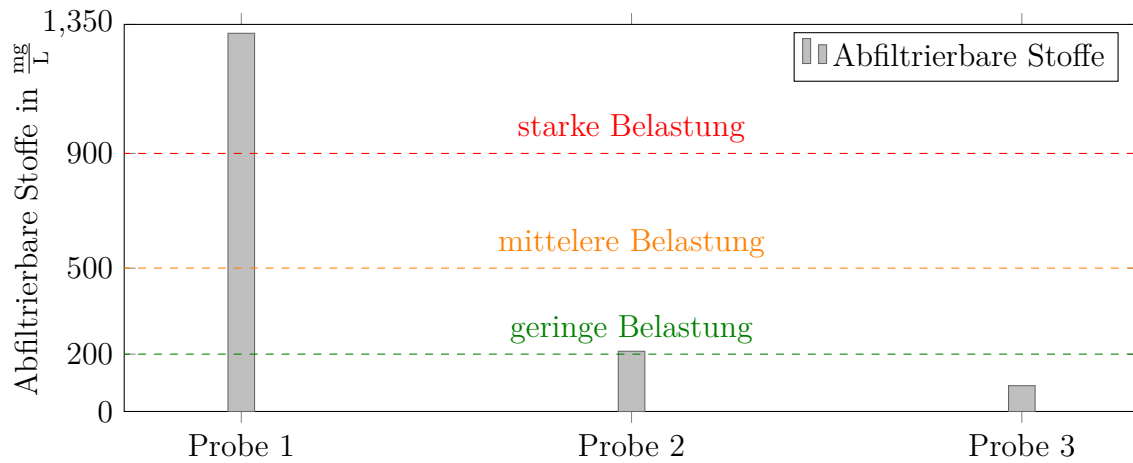


Abb. 4.5: Abfiltrierbare Stoffe der Abwasserproben 1 bis 3

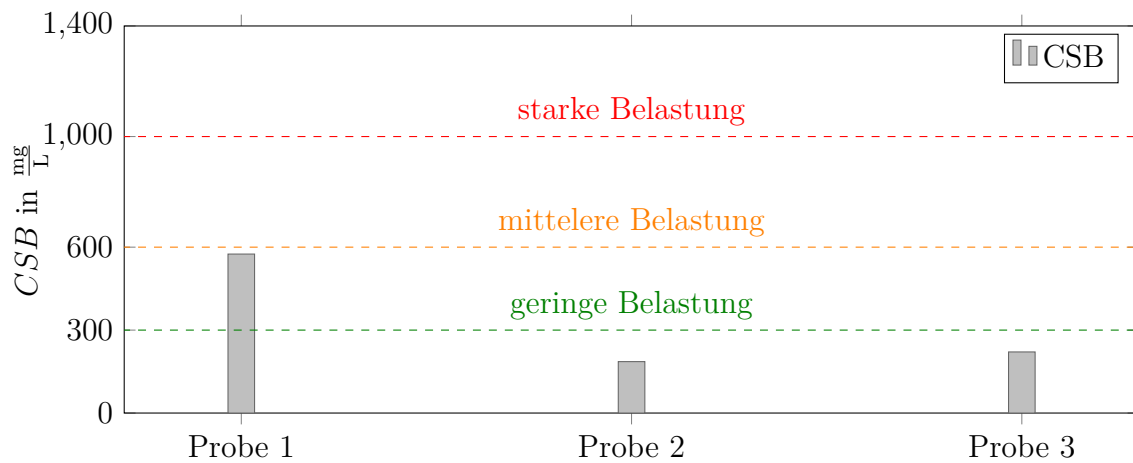


Abb. 4.6: Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) der Abwasserproben 1 bis 3

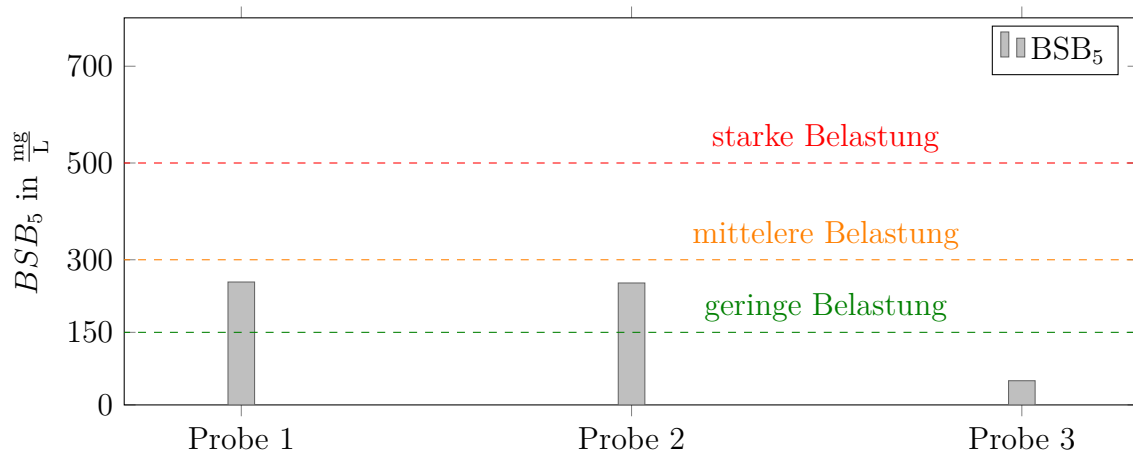


Abb. 4.7: Biochemischer Sauerstoffbedarf über 5 Tage (BSB<sub>5</sub>) der Abwasserproben 1 bis 3

## 5 Diskussion

In diesem Abschnitt des Protokolls werden nun die Ergebnisse des Abschnittes 4 diskutiert und ausgewertet.

Das Sedimentationsverhalten der Probe 1 unterscheidet sich signifikant von dem der Proben 2 und 3. Die Probe 1 enthält einen sehr großen Anteil an Schwebstoffen (siehe Tab. 4.3) in grobflockiger Form. Diese setzen sich aufgrund ihrer Größe und Zahl zügig auf ein großes Absatzvolumen ab. Dabei entstehen nur zwei erkennbare Zonen. Die erste Zone ist die rasch wachsende Klarphase im oberen Bereich. Die zweite Zone ist die Sedimentationszone, welche von der Trennschicht bis zum Boden des Imhofftrichters reicht. Eine Kompressionszone deutet sich etwa nach einer Absatzdauer von 10 Minuten an, verglichen mit Abb. 4.1 und Abb. 5.1.

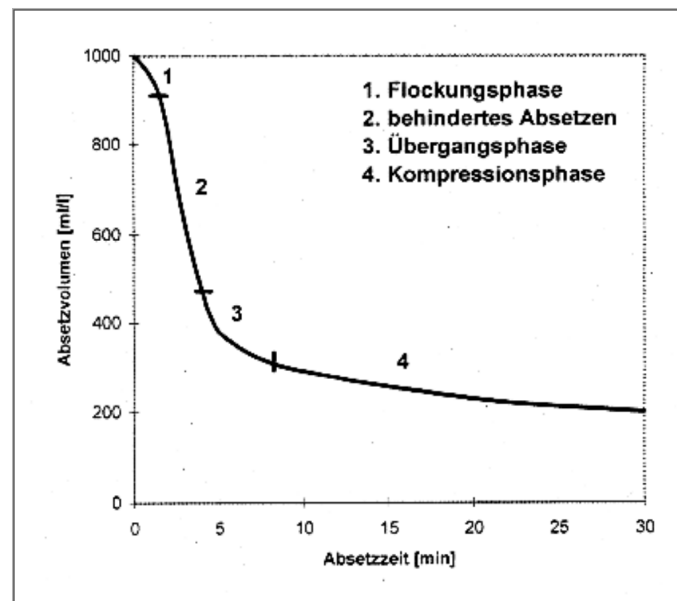


Abb. 5.1: Zeitliche Phasen des Absatzvorganges [1]

Ganz im Gegensatz dazu bildet die Probe 2 eine recht dünne, klare Schicht im aller obersten Bereich. Darunter folgt eine sich über den Versuchszeitraum kaum verändernde Trübe. Am Boden schließlich sammelt sich das abgesetzte Material. Es handelte sich dabei um die Art der Schichtung, bei welcher sich aus der Trübe eine Sedimentationszone herausbildet. Aus der Probe 2 fallen vereinzelte Partikel etwas zügiger aus und bilden einen geringen Bodensatz. Somit ist das Sedimentationsverhalten der Probe 2 verglichen mit der Probe 1 in der Beschaffenheit der Abwasserproben unterschiedlich. Die Struktur der Feststoffe in Probe 1 enthält einen klassischen „Schlamm“, während die Proben 2 und 3 eher durch feine Schwebstoffe verunreinigt sind. Das hat zur Folge, dass für die Auswertung des Sedimentationsverhalten, der untersuchten Abwasserproben, lediglich Probe 1 nach der Abb. 5.1 charakterisiert werden kann.



Die Proben 2 und 3 benötigen anderweitige Methoden der Auswertung des Sedimentationsverhaltens. Ähnlich verhält es sich mit den Ergebnissen des Schlammvolumenindex (SVI), da in den Proben effektiv nicht von einem zusammenhängenden Schlamm gesprochen werden kann.

Das hat zur Folge, dass für die Proben 2 und 3 eher der beginnende Bodensatz betrachtet wird. Dieser bildete sich in beiden Proben vom Boden beginnend langsam bis zu einem Volumen von wenigen Millilitern. Bei der Probe 1 setzten sich die Schwebstoffe gleichzeitig und wie als einzige Masse von oben beginnend nach unten ab. Somit ergeben sich unterschiedliche Wertebereiche der Absetzvolumen zwischen der Probe 1 und den Proben 2 und 3, welche in den Graphen, der Abb. 4.1 und Abb. 4.2 getrennt dargestellt sind.

Als Schlussfolgerung dazu ließe sich Probe 1 hervorragend in einem Absetzbecken trennen. Die Proben 2 und 3 brauchen für den selben Fortschritt ungemein länger. Die Verweilzeit von 30 min könnte für ein spezifikationsgerechtes Absetzen im Einzelfall nicht ausreichen. In diesen Fällen schaffen Flockungsmittel Abhilfe durch Koagulation und dadurch erhöhte Absinkgeschwindigkeiten.

Der Schlammvolumenindex wurde für die untersuchten Abwässer im Kapitel 4 berechnet und die Ergebnisse in Tab. 4.5 aufgeführt. Der Schlammvolumenindex SVI gibt Auskunft über das Absetzverhalten und die Absetzeigenschaften des Schlammes. Besonders wichtig ist er für die Einschätzung von Schlämmen aus der biologischen Abwasserbehandlung. Ein normaler Wert für den SVI liegt zwischen  $100 \frac{\text{mL}}{\text{g}}$  und  $120 \frac{\text{mL}}{\text{g}}$ . Ein höherer SVI deutet auf schlechtes Absetz- und Eindickverhalten hin. Ab etwa  $150 \frac{\text{mL}}{\text{g}}$  gilt der Schlamm als Blähschlamm. Umso geringer die Werte sind, umso besser ist die Absetzbarkeit des Schlammes.[3]

Der errechnete SVI-Wert für die Probe 1 bewegt sich mit  $160 \frac{\text{mL}}{\text{g}}$  in einem realistischen Wertebereich. Der Schlamm ist nach [3] als Blähschlamm einzustufen. Die SVI-Werte der Proben 2 und 3 stimmen nicht mit den beobachteten Absetzverhalten überein. Die SVI-Werte kleiner  $45 \frac{\text{mL}}{\text{g}}$  sollten ein sehr schnelles Absetzen erwarten lassen. Ein Vergleich mit der Abb. 4.2 ergibt, in Verbindung mit der erheblichen verbliebenen Trübheit der Wässer mit sichtbaren Feststoffpartikeln, ein gegenteiliges Bild. Der Schlammvolumenindex bezieht sich laut [3] nur auf Belebtschlamm. Die Proben 2 und 3 enthalten keinen Belebtschlamm, daher gilt lediglich der Messwert für Abwasserprobe 1 als plausibel.

Der *CSB*-Wert gibt an wie viel Sauerstoff von einem starken chemischen Oxidationsmittel, wie etwa Kaliumdichromat, zur Oxidation aller im Wasser enthaltenen oxidierbaren Stoffe verbraucht wird. Neben den biologischen und organischen Stoffen werden zum Teil auch anorganische Verbindungen oxidiert. Darum liegt der *CSB* in der Regel höher als der *BSB<sub>5</sub>*.

Der *BSB<sub>5</sub>* gibt an wie viel Sauerstoff bei der biologischen Oxidation im Wasser befindlicher organischer Stoffe verbraucht wird. Nicht alle organischen Inhaltsstoffe können innerhalb der gewährten Zeit oxidiert werden. Außerdem werden circa 50% der organischen Stoffe für das Wachstum der Mikroorganismen benötigt und ist somit nicht oxidiert.[4, S.64]

Die Angabe des  $CSB$  und  $BSB_5$  ermöglichen eine Einordnung der Abwässer hinsichtlich ihres Gehaltes an Biomasse (organischen Stoffen). Ins besondere bei der Abschätzung des Gefahrenpotentials des Abwassers für aquatische Ökosysteme sind der  $CSB$ , als auch der  $BSB_5$ , unerlässlich.

Die Dauer des BSB-Versuches beträgt fünf Tage, weil die verwendeten Mikroorganismen einige Zeit brauchen um sich entsprechend zu vermehren und die angebotene Biomasse zu verstoffwechseln. Fünf Tage sind außerdem eine realistische Verweilzeit für den Belebtschlamm in einer herkömmlichen Kläranlage. [5] [6]

Bei kommunalen Abwässern ist ein Verhältnis von  $CSB$  zu  $BSB_5$  von etwa 2:1 häufig anzutreffen. Ist das Verhältnis  $< 2$  kann eine gute Abbaubarkeit erwartet werden. Bei Werten  $> 2$  ist keine einfache Schlussfolgerung möglich. Das Wasser muss dann auf andere Arten untersucht werden.

„Problemabwässer“ entstammen zumeist industriellen Quellen. Schadstoffe welche in der natürlichen Umgebung sehr selten auftreten bedürfen zumeist spezieller Destruenten zum biologischen Abbau. Extrem große Verhältnisse von  $CSB$  zu  $BSB_5$  lassen darauf schließen, dass der  $BSB_5$  sehr gering ausgeprägt ist. Geringe mikrobielle Aktivität hat demnach eine schlechte Abbaubarkeit zur Folge.[4, S.64]

Tab. 5.1: Errechnete  $CSB$ - $BSB_5$ -Verhältnisse

	$CSB$ $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$BSB_5$ $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$\frac{CSB}{BSB_5}$
Probe 1	575	254	2,29
Probe 2	486	252	1,93
Probe 3	221	50	4,42

Die oben ergründete Bedeutung des  $\frac{CSB}{BSB_5}$ -Verhältnisses kann nun durch die in Tab. 5.1 Werte auf die getesteten Proben übertragen werden. Das  $\frac{CSB}{BSB_5}$ -Verhältnis der Probe 1 beträgt 2,29. Die Probe 1 gilt damit als mäßig gut abbaubar. Die Probe 2 ist mit einem  $\frac{CSB}{BSB_5}$ -Verhältnis von 1,93 gut abbaubar. Eine schlechte Abbaubarkeit bescheinigt der Probe 3 ihr  $\frac{CSB}{BSB_5}$ -Verhältnis von 4,42.

Alle drei untersuchten Abwasserproben erreichen nicht die Mindestanforderungen für das Einleiten in den Vorfluter für die GK5. Dabei sticht die Probe 1 besonders heraus. Sie überschreitet den Grenzwert von  $75 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$   $CSB$  um das 7,6-Fache und den Grenzwert von  $15 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$   $BSB_5$  sogar um das knapp 17-Fache. Die Proben 2 und 3 können die Grenzwerte ebenfalls bei weitem nicht erfüllen, was in Abb. 4.3 dargestellt ist.

Zur Einordnung der Proben hinsichtlich ihrer Belastung werden im Folgenden die in den Tabellen 4.2, 4.3, 4.6 und 4.7 aufgeführten Ergebnisse mit den Referenzwerten in Tabelle 4.9 verglichen. Die Proben 1 und 2 sind den *CSB*- und *BSB*<sub>5</sub>-Werten nach mittelstark mit organischem Material belastet, während die Probe 3 als gering belastet einzustufen ist. Weitere Merkmale für den Belastungsgrad stellen die Anteile absetzbarer und abfiltrierbarer Stoffe dar. Die Probe 3 mit  $90 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$  sehr gering belastet, wohingegen die Probe 2 mit  $210 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$  schon gering und die Probe 1 mit  $1319 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$  sehr stark belastet ist (siehe Abb. 4.5). Die Betrachtung hinsichtlich absetzbarer Stoffe ergibt für die Probe 1 eine sehr starke Belastung mit einem Volumenanteil von  $210 \frac{\text{mL}}{\text{L}}$  nach 30 Minuten. Von einer starken Belastung wird ab einem Wert von  $12 \frac{\text{mL}}{\text{L}}$  ausgegangen. Die Proben 2 und 3 fallen bei  $2 \frac{\text{mL}}{\text{L}}$  bis  $4 \frac{\text{mL}}{\text{L}}$  beide unter die geringe Belastungsstufe (siehe Abb. 4.4).

Die Abwasserprobe enthält sehr große Mengen an abfiltrierbaren Stoffen. Ein hoher Anteil an Exkrementen könnte dazu geführt haben. Der Geruch lässt aber keinen Urinanteil erkennen. An Wänden in Kanälen bildet sich gern ein ausgeprägter Biofilm. Es könnte sich um Abwasser von der Reinigung dieser Wandbeläge handeln. Alternativ wäre eine Herkunft aus dem Belebungsbecken einer Kläranlage anzunehmen. Die Flocken lassen sich sowohl gut in schweben halten als auch schnell absetzen. Die größten Verunreinigungen sind in diesem Fall schon abgebaut und in Biomasse gebunden. Die hell-rotbraune Färbung des Schlamms findet sich auch in Lichtbildern von Klärbecken wieder.

Die Proben 2 und 3 lassen hingegen keine eindeutige Einordnung zu. Es handelt sich wahrscheinlich um Abwässer, wobei der niedrige *BSB*<sub>5</sub> der Probe 3 entweder auf eine bereits erfolgte Klärung, eine Industrielle Herkunft oder eine Schadstoffbelastung schließen lassen könnte. Die Probe 3 ist außerdem optisch heller als die Probe 2. Die dunkle Färbung, die feine Beschaffenheit der Schwebstoffe und das Fehlen von Exkrementen, gepaart mit der mittelstarken Belastung an biologisch abbaubaren Substanzen könnten auf einen natürlichen Ursprung hinweisen. Beispiel hierfür könnte fauliges Wasser aus einem Sumpf oder Überschwemmungsgebiet sein.

Die Proben 1 und 2 können einer kommunalen Kläranlage zugeführt werden. Der Gehalt absetzbarer und abfiltrierbarer Stoffe könnte damit behoben werden, das Abwasser vor dem Einleiten in die Kanalisation durch ein Absetzbecken zu leiten. Andernfalls muss auf eine ausreichende Spülung der Kanalrohre geachtet werden. Die Probe 3 sollte unter Umständen genauer analysiert werden um den Grund ihrer schlechten biologischen Abbaubarkeit heraus zu finden. Ein zu großer Anteil des Abwassers 3 könnte den Klärprozess, durch Herabsetzung der biologischen Abbaubarkeit des gesamten Abwassers, verlangsamen und behindern. Es ist aber am wahrscheinlichsten, dass die Probe 3 einfach schon einen Klärprozess durchlaufen hat. Sowohl der *CSB* als auch der *BSB*<sub>5</sub> fallen recht gering aus.

## 6 Fehlerbetrachtung

In diesem Abschnitt erfolgt die Fehlerbetrachtung des Versuches, welche Einfluss auf die Messergebnisse haben können.

Mess- und Ablesefehler können bei der Bestimmung des Absetzvolumens im IMHOFFtrichter, bei der automatisierten Messung des  $CSB$ , bei der Bestimmung des  $BSB_5$  nach der Differenzdruckmethode, bei allen durchgeführten Wägevorgängen und Volumenmessungen mit Messzylindern und EPPENDORFpipetten aufgetreten sein. Auch die Zeitmessung während des Absetzvorgangs ist fehlerbehaftet, da das Ablesen einige Zeit in Anspruch nahm. Darum handelt es sich bei allen Zeitangaben nur um Näherungswerte mit Abweichungen von bis zu 30 Sekunden.

Die Belastungsgrade, welchen die Proben zugeordnet wurden, sind nicht klar definiert. Es handelt sich stets um Bereiche mit fließenden Übergängen. So verhält es sich auch mit den Referenzwerten des  $\frac{CSB}{BSB_5}$ -Verhältnisses. Je nach Quelle variieren diese geringfügig, jedoch ist eine allgemeine Charakterisierung möglich.

Die Versuchsdurchführung weist an einigen Stellen ein beachtenswertes Fehlerpotential auf. Die Trocknung des Filterpapiers auf der Trocknungswaage ist recht genau, da die Wage den Gewichtsverlust kontrolliert und erst bei Stagnation der Masse die Trockenmasse anzeigt. Die Vorbereitung der  $CSB$ -Ampullen erforderte die Herstellung einer verdünnten Probenlösung. Hierbei kamen nur Messzylinder zum Einsatz. Dem entsprechend kann das angegebene Volumen um wenige Milliliter variieren. Die eigentliche Befüllung der Ampullen mit EPPENDORFpipetten dürfte jedoch keinen signifikanten Fehler verursacht haben.

Beim Verglühen der Filterkuchen wurden die Filterpapiere mitverglüht. Um die so zusätzlich eingetragene Masse an Asche bilanzieren zu können, wurde ein Blatt Filterpapier der selben Charge parallel mit verglüht. Ein Mittelwert aus einer größeren Anzahl verglühter Filterpapierblättchen würde einen belastbareren Wert ergeben, da er die natürliche Streuung der Aschegehalte ausgleicht. Das Verglühen der Proben könnte zudem unvollständig gewesen sein.

Die Bestimmung des  $BSB_5$  ist stark vom Wohlbefinden der Mikroorganismen abhängig. Eine Unterdosierung von Nährstoffen in der Nährlösung, zu hohe Temperaturschwankungen oder das versehentliche Einbringen von Natriumhydroxid könnte die Lebensumstände der Mikroorganismen in einen suboptimalen Bereich verschieben und damit deren Aktivität hemmen. Zur besseren Vergleichbarkeit der  $BSB_5$ -Werte, hätte die Bakterienpopulation der Proben zu Beginn der Messung aneinander angeglichen werden müssen. Eine niedrige Anzahl von Destruenten im Abwasser verlängert die Abbaudauer dadurch, dass sich die Population erst entwickeln muss. Im ungünstigsten Fall reicht dann die Zeit von fünf Tagen nicht zum weitest möglichen biologischen Abbau aus. Undichtigkeiten im System würden, beispielsweise bei unzureichender Schliffettnutzung, die Differenzdruckmessung kompromittieren.

# Literaturverzeichnis

- [1] MERKEL, Wolfgang ; AACHEN, Diss. Techn. H. Techn. Hochschule (Hrsg.): *Untersuchungen über das Verhalten des belebten Schlammes im System Belebungsbecken-Nachklärbecken*. 1971
- [2] HEINZ, Prof. Dr.-Ing. D. ; WÜRDEMAN, Prof. Dr.-Ing. H.: *Praktikumsskript, Umwelttechnik*. (2019)
- [3] NEUPERT, Dr. M. ; RÖMPP, Thieme (Hrsg.): *Schlammindex*. Version: August 2008. <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-19-00944>, Abruf: 08.01.2020
- [4] ROSENWINKEL, Karl-Heinz (Hrsg.) ; KROISS, Helmut (Hrsg.) ; DICHTL, Norbert (Hrsg.) ; SEYFRIED, Carl-Franz (Hrsg.) ; WEILAND, Peter (Hrsg.): *Anaerobtechnik: Abwasser-, Schlamm- und Reststoffbehandlung, Biogasgewinnung*. 3., neu bearb. Aufl. Springer Vieweg. – ISBN 978-3-642-24895-5 978-3-642-24894-8. – OCLC: 913049603
- [5] WINGENDER, Jörg ; RÖMPP, Thieme (Hrsg.): *Kläranlage*. <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-11-01139>, Abruf: 11.01.2020
- [6] RÖMPP, Thieme (Hrsg.): *Schlammalter*. <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-19-00936>, Abruf: 11.01.2020