



PROTOKOLL UMWELTECHNIK

V2 - Abwasserbeschaffenheit I

Gruppe 1.2 (BCUT3)

Teilnehmer:

Christoph Hecht
Willy Messerschmidt
Roman-Luca Zank

Protokollführer:

Willy Messerschmidt
willy.messerschmidt@stud.hs-merseburg.de

Datum der Versuchsdurchführung:

03.12.2019

Abgabedatum:

17.12.2019

Merseburg den 15. Dezember 2019

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
1 Aufgabenstellung	4
2 Geräte und Chemikalien	5
3 Durchführung	6
4 Ergebnisse	8
4.1 Sinnesprüfung	8
4.2 Elektrochemische Ergebnisse zur Abwasserbeschaffenheit	8
4.3 Foto- bzw. kolorimetrische Messungen zur Abwasserbeschaffenheit . .	9
4.4 Gegenüberstellung der Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in einen Vorfluter der GK 5 mit den Abwasserproben	11
4.5 Gegenüberstellung der durchschnittlichen Beschaffenheit von häusli- chem Abwasser mit den Abwasserproben	12
5 Diskussion	14
6 Fehlerbetrachtung	17
Literaturverzeichnis	19

Abbildungsverzeichnis

2.1	Foto des Reflektometers	5
3.1	Foto der Abwasserproben 1 bis 3	6
3.2	Foto der Abwasserproben 1 bis 3 (filtriert und unfiltriert)	7
3.3	Foto der Schnelltestpackungen mit jeweiliger Farbskala und daneben- liegenden Phosphat-Teststreifen	7
4.1	Vergleich mit Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter der GK 5 für die Abwasserproben 1 bis 3 .	11
4.2	pH-Wert-Beschaffenheit der Abwasserproben 1 bis 3	12
4.3	N_{ges} -Beschaffenheit der Abwasserproben 1 bis 3	13
4.4	P_{ges} -Beschaffenheit der Abwasserproben 1 bis 3	13

Tabellenverzeichnis

3.1	Einstufungen der Färbung und Trübung nach Praktikumsskript . . .	6
3.2	Einstufungen des Geruchs der Abwasserproben 1 bis 3	6
4.1	Wahrgenommene Einstufungen der Färbung und Trübung der Abwasserproben 1 bis 3	8
4.2	Wahrgenommene Einstufungen des Geruchs der Abwasserproben 1 bis 3	8
4.3	Elektrochemische Messwerte der Abwasserproben 1 bis 3	8
4.4	Foto-/kolorimetrisch Messwerte der Abwasserproben 1 bis 3	9
4.5	N_{ges} der Abwasserproben 1 bis 3	10
4.6	P_{ges} der Abwasserproben 1 bis 3	11
4.7	Tabellarischer Vergleich der Messwerte mit den Mindestanforderun- gen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter der GK 5	12
4.8	Tabellenausschnitt zur durchschnittlichen Beschaffenheit von häusli- chem Abwasser	12

1 Aufgabenstellung

Im Versuch 2 „Abwasserbeschaffenheit I“ werden drei Abwasserproben unbekannter Herkunft im ersten Versuchsteil mittels optischer und olfaktorischer Sinnesprüfung, im zweiten Teil über elektrochemische Bestimmungen und zuletzt über fotometrische und kolorimetrische Messverfahren untersucht.

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

Im Anschluss sind Empfehlungen zur Abwasserbehandlung zu geben.

2 Geräte und Chemikalien

Geräte:

- Magnetrührer mit Rührfisch
- Bechergläser
- Erlenmeyerkolben
- Büchnertrichter für Vakuumfiltration
- Erlenmeyerkolben mit angeschlossener Saugleitung
- Filterpapier
- Reflektometer RQflex[®] plus 10 von MERCK

Proben/Chemikalien:

- destilliertes Wasser
- Abwasserproben 1, 2 & 3
- Schnelltests von CHEMSOLUTE[®]:
 - Phosphat Test für 0 - 500 $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$ PO_4^{3-} (Art.-Nr. 29500001)
 - Nitrat Test für 0 - 500 $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$ NO_3^- (Art.-Nr. 29350001)
 - Nitrit Test für 0 - 80 $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$ NO_2^- (Art.-Nr. 29300001)
- Reflectoquanten[®] von MERCK für Reflektometer:
 - Ammonium Test für 0,2 - 7,0 $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$ NH_4^+ (Art.-Nr. 1168920001)
 - Phosphate Test für 5 - 120 $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$ PO_4^{3-} (Art.-Nr. 1169780001)
 - Nitrat Test für 3 - 90,0 $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$ NO_3^- (Art.-Nr. 1169950001)
 - Nitrit Test für 0,5 - 25,0 $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$ NO_2^- (Art.-Nr. 1169730001)



Abb. 2.1: Foto des Reflektometers

3 Durchführung

Im ersten Versuchsteil werden die drei Proben mittels Sinnesprüfung untersucht. Alle Proben werden hierfür durchgeschüttelt, um homogenisierte Wasserproben zu erhalten und anschließend in Klarglasgefäße, in diesem Fall drei Erlenmeyerkolben, umgefüllt. Vor einem weißen Hintergrund platziert (siehe Abb. 3.1), erfolgt nun die optische Sinnesprüfung mit Einschätzung von Färbung und Trübung nach den Einstufungen in Tab. 3.1.

Tab. 3.1: Einstufungen der Färbung und Trübung nach Praktikumsskript [1, S. 18]

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Färbung	farblos	schwach	stark gefärbt	-
Trübung	klar	schwach getrübt	stark getrübt	undurchsichtig



Abb. 3.1: Foto der Abwasserproben 1 bis 3

Des Weiteren werden sind die Proben olfaktorisch in Bezug auf Intensität und Art mit den Einstufungen aus Tabelle 3.2 zu kategorisieren und mit charakteristisch-chemischen Gerüchen zu vergleichen.

Tab. 3.2: Einstufungen des Geruchs der Abwasserproben 1 bis 3 [1, S. 19]

	Beschreibung
Intensität	ohne - schwach - stark
Art	erdig, torfig, muffig, fischig, jauchig, modrig, chemisch
charak.-chemisch	H ₂ S, Chlor, Mineralöl, Benzin, Teer, Phenol

Im zweiten Versuchsteil werden die Proben elektrochemisch mittels pH-Wert-Elektrode und 2-in-1 Potentiometer-Temperatursensor analysiert. Die pH-Wert-Elektrode ist dabei auf 25 °C kalibriert und untersucht werden die drei Abwasserproben einmal mit und einmal ohne vorangegangene Vakuumfiltration (siehe Abb. 3.2). Während der elektrochemischen Messungen wird die jeweils zu untersuchende Probe mittels Magnetrührer bei ca. 300 rpm homogen gehalten.

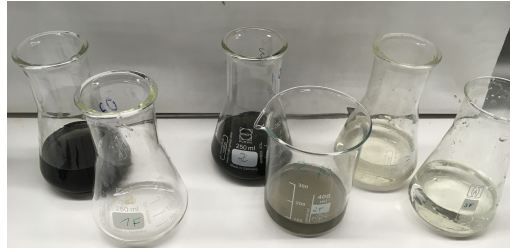


Abb. 3.2: Foto der Abwasserproben 1 bis 3 (filtriert und unfiltriert)

Im dritten und letzten Versuchsabschnitt werden die zuvor gefilterten Proben auf ihre enthaltenen Ionen geprüft. Dafür werden die Proben wiedermals durch schütteln homogenisiert und dann im ersten Zug via Schnellteststreifen analysiert. Es werden Schnellteststreifen der Firma CHEMSOLUTE[®] genutzt, welche die Proben auf Nitrit-, Nitrat- und Phosphat-Ionen testen und mittels abgestufter Farbskala eine grobe Beurteilung über den Gehalt der Ionen in [mg] ermöglichen. Beispielhaft sind in Abbildung 3.3 die Schnelltestpackungen mit den Farbskalen und danebenliegenden Phosphat-Teststreifen zu sehen.

Im zweiten Zuge des Versuchsabschnittes werden die Proben mittels Reflektometer geprüft. Dafür wird das Messgerät mit dem der Packung beiliegenden Barcode kalibriert und im Anschluss die Messsequenz per Knopfdruck gestartet. Auch hier werden wieder beigefügte Teststreifen verwendet und mit der Probe befeuchtet. Die Verweildauer in der Lösung ist dabei entweder der Packungsbeilage oder dem Messgerät zu entnehmen. In den letzten 5 Sekunden des Timers auf dem Reflektometer wird man aufgefordert den mit der Probe befeuchteten Teststreifen in den Stäbchenadapter einzuspannen und erhält binnen Sekunden den Messwert für das jeweilige Ion.



Abb. 3.3: Foto der Schnelltestpackungen mit jeweiliger Farbskala und danebenliegenden Phosphat-Teststreifen

4 Ergebnisse

Im folgenden Protokollabschnitt werden die Versuchsergebnisse der Versuchsdurchführung präsentiert.

4.1 Sinnesprüfung

Die aus Versuchsteil 1 wahrgenommenen Einstufungen der Abwasserproben 1 bis 3 sind in Tab. 4.1 aufgeführt und im Vergleich mit Abb. 3.1 nachzuvollziehen.

Tab. 4.1: Wahrgenommene Einstufungen der Färbung und Trübung der Abwasserproben 1 bis 3

	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Färbung	stark gefärbt	stark gefärbt	schwach
Trübung	undurchsichtig	undurchsichtig	klar

Für die Abwasser Proben 1 bis 3 sind die wahrgenommenen Einschätzungen zu den Gerüchen in Tab. 4.2 aufgeführt.

Tab. 4.2: Wahrgenommene Einstufungen des Geruchs der Abwasserproben 1 bis 3

	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Intensität	schwach	stark	ohne
Art	erdig, muffig	modrig	-
charak.-chemisch	-	-	-

4.2 Elektrochemische Ergebnisse zur Abwasserbeschaffenheit

Die elektrochemischen Messwerte für die Abwasserproben 1 bis 3 sind in Tab. 4.3 eingetragen. Zu beachten ist dabei, dass die Messwerte für den pH-Wert nur eine grobe Einschätzung liefern, da laut Messgerät die pH-Wert-Elektrode hätte gewechselt werden müssen.

Weitere Diskussionen zur Fehlerbetrachtung sind unter Abschnitt 6 zu finden.

Tab. 4.3: Elektrochemische Messwerte der Abwasserproben 1 bis 3

	pH-Wert ⁽¹⁾ [–]	Leitfähigkeit $\left[\frac{\text{mS}}{\text{cm}}\right]$	Temperatur [°C]
Probe 1	1,70	10,59	17,5
Probe 1 (filtr.)	1,68	10,32	17,6
Probe 2	7,38	2,67	17,4
Probe 2 (filtr.)	7,58	2,55	17,8
Probe 3	7,44	2,43	17,4
Probe 3 (filtr.)	7,54	2,27	17,9

⁽¹⁾pH-Wert-Elektrode auf 25 °C kalibriert

4.3 Foto- bzw. kolorimetrische Messungen zur Abwasserbeschaffenheit

Die für die fotometrischen bzw. kolorimetrischen Messungen erhobenen Daten lassen sich für die Abwasserproben 1 bis 3 in Tab. 4.4 wiederfinden. In dieser Tabelle sind sowohl die Schnelltestergebnisse (ST) als auch die Reflektometerergebnisse (RM) aufgeführt.

Ebenfalls aufgeführt ist die Berechnung der Konzentration an Nitrat NO_3^- mittels Schnelltest für Probe 1, da der Messbereich von maximalen $500 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ nicht ausreicht. Die dafür nötige Berechnung der Verdünnung der Probe 1 ist ab Gleichung 4.1 gezeigt.

Tab. 4.4: Foto-/kolorimetrisch Messwerte der Abwasserproben 1 bis 3

	Probe 1 $\left[\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right]$	Probe 2 $\left[\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right]$	Probe 3 $\left[\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right]$
Nitrit NO_2^- (Schnelltest)	2	0	2
Nitrit NO_2^- (Reflektometer)	<0,3	<0,3	<0,3
Nitrat NO_3^- (ST)	>500	0	0
Nitrat NO_3^- (RM) (verdünnt/unverdünnt)	48/480	<3	7,4
Phosphat PO_4^{3-} (ST)	kein Messwert ⁽²⁾	0	25
Phosphat PO_4^{3-} (RM)	kein Messwert ⁽²⁾	12	27
Ammonium NH_4^+ (RM)	kein Messwert ⁽²⁾	1,3	0,6

Verdünnung für Nitrat-Gehaltsbestimmung der Probe 1

Es wird von $V_{\text{Probe 1}} = 100 \text{ mL}$ ausgegangen:

$$\frac{500 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = \frac{100 \text{ mL}}{V_{\text{zu verdünnen}}} \quad (4.1)$$

$$V_{\text{zu verdünnen}} = 100 \text{ mL} \cdot \frac{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{500 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \quad (4.2)$$

$$= \underline{10 \text{ mL}} \quad (4.3)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \text{ mL} - V_{\text{zu verdünnen}} \quad (4.4)$$

$$= 100 \text{ mL} - 10 \text{ mL} \quad (4.5)$$

$$= \underline{90 \text{ mL}} \quad (4.6)$$

$$\frac{10 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = \frac{1}{10} \quad (4.7)$$

$$= \underline{1 : 10} \quad (\text{Verdünnung}) \quad (4.8)$$

Mit $50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ ist der Messbereich des Schnellteststreifens für Nitrat mit $0\text{-}500 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ gut erfasst und das Volumen von 10 mL ist einfach mittels Messzylinder abzumessen. Daraus folgt eine Verdünnung von 1:10 mit einem Volumenteil (10 mL) Abwasserprobe 1 und neun Volumenteilen (90 mL) destilliertes Wasser.

⁽²⁾keine Messung möglich, da laut Packungsbeilage der pH-Wert zu niedrig für ein verwertbares Ergebnis ist

Der Messwert des Reflektometers für die verdünnte Lösung der Probe 1 ergibt für den Nitratgehalt $48 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ (siehe Tab. 4.3). Hochgerechnet auf die unverdünnte Lösung ergibt sich:

$$\frac{c_{1,\text{verdünnt}}}{c_{1,\text{unverdünnt}}} = \frac{1}{10} \quad (4.9)$$

$$c_{1,\text{unverdünnt}} = 10 \cdot c_{1,\text{verdünnt}} \quad (4.10)$$

$$= 10 \cdot 48 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad (4.11)$$

$$= \underline{\underline{480 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}} \quad (4.12)$$

Bestimmung des anorganisch gebundenen Gesamtstickstoffs

Der gesamte anorganisch gebundene Stickstoff kann über den Masseanteil des Elementaren Stickstoffs an den einfachen anorganischen Verbindungen Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumionen berechnet werden.

Dabei kann aus dem Massenanteil des Stickstoffs am Molekül abgeleitet werden, dass $1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ Ammoniumionen $\frac{7}{9} \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ anorganisch gebundenem Stickstoff entsprechen. (vgl. Gleichung 5.1)

$$\frac{M(N)}{M(\text{NO}_3^-)} = \frac{14 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{14 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 3 \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \frac{7}{31} \approx 22,6\% \quad (4.13)$$

$$\frac{M(N)}{M(\text{NO}_2^-)} = \frac{14 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{14 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 2 \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \frac{7}{23} \approx 30,4\% \quad (4.14)$$

$$\frac{M(N)}{M(\text{NH}_4^+)} = \frac{14 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{14 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 4 \cdot 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \frac{7}{9} \approx 70,0\% \quad (4.15)$$

Zur Berechnung des anorganisch gebundenen Gesamtstickstoffs können die Ionenkonzentrationen mit den entsprechenden Umrechnungsfaktoren aufsummiert werden. Beispielhaft wird N_{ges} für Probe 2 mit den Reflektometerergebnissen vorgerechnet, zu sehen in den Gleichungen 4.16 bis 4.19. Die restlichen Werte des N_{ges} sind in Tab. 4.5 dargestellt.

$$N_{ges,i} = c_{(i,\text{NO}_3^-)} \cdot 22,6\% + c_{(i,\text{NO}_2^-)} \cdot 30,4\% + c_{(i,\text{NH}_4^+)} \cdot 70,0\% \quad (4.16)$$

$$= 7,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 22,6\% + 0,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 30,4\% + 0,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 70,0\% \quad (4.17)$$

$$= 1,67 \frac{\text{mg}}{\text{L}} + 0,09 \frac{\text{mg}}{\text{L}} + 0,42 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad (4.18)$$

$$N_{ges,3} = \underline{\underline{2,18 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}} \quad (4.19)$$

Tab. 4.5: N_{ges} der Abwasserproben 1 bis 3

	Probe 1	Probe 2	Probe 3
$N_{ges} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right]$	108,67 ⁽³⁾	0,77	2,18

⁽³⁾zweifelhaftes Ergebnis, da kein Messwert für den Ammoniumgehalt vorhanden ist

Bestimmung des gebundenen Gesamtphosphors

Die Bestimmung des gebundenen Gesamtphosphors folgt analog der Bestimmung des Gesamtstickstoffs:

$$\frac{M(P)}{M(\text{PO}_4^{3-})} = \frac{31 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{31 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 4 \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \frac{31}{95} \approx 32,6\% \quad (4.20)$$

Beispielhaft für Reflektometerergebnisse der Probe 3 vorgerechnet:

$$P_{ges,i} = c_{(i,\text{PO}_4^{3-})} \cdot 32,6\% \quad (4.21)$$

$$P_{ges,3} = 27 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 32,6\% \quad (4.22)$$

$$= 8,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad (4.23)$$

Tab. 4.6: P_{ges} der Abwasserproben 1 bis 3

		Probe 1	Probe 2	Probe 3
P_{ges}	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	kein Ergebnis ⁽⁴⁾	3,9	8,8

4.4 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 [1, S. 29] zu finden.

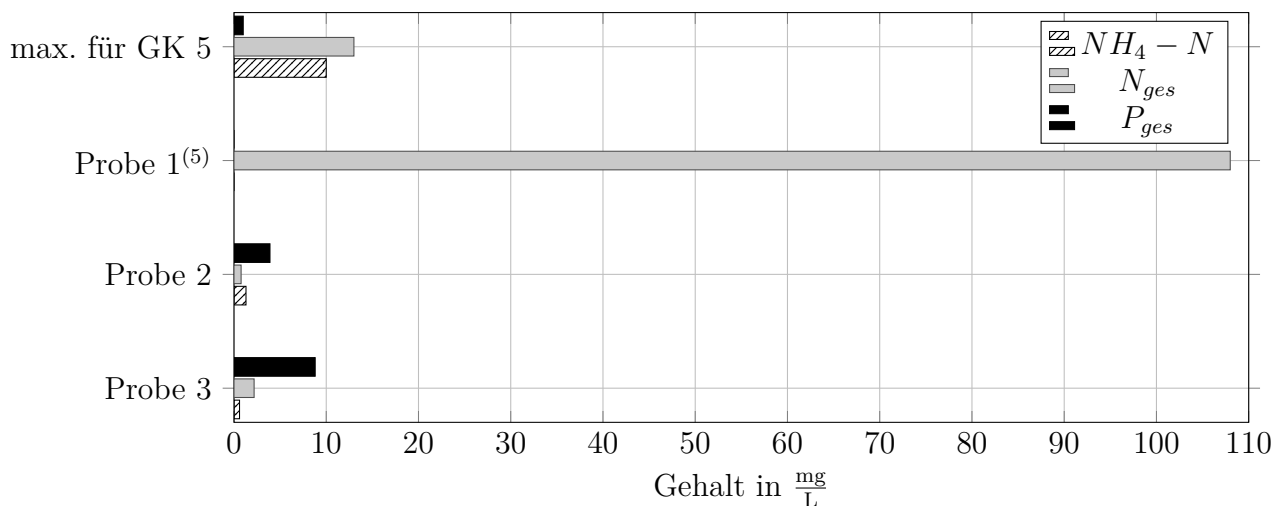


Abb. 4.1: Vergleich mit Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter der GK 5 für die Abwasserproben 1 bis 3

⁽⁴⁾kein Ergebnis, da kein Messwert für den Phosphatgehalt vorhanden ist

⁽⁵⁾kein Messwert für Phosphat- bzw. Ammoniumgehalt vorhanden

Tab. 4.7: Tabellarischer Vergleich der Messwerte mit den Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter der GK 5 [1, S. 29]

Werte in $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$NH_4^+ - N$	N_{ges}	P_{ges}
Grenzwert	10	13	1
Probe 1	kein Messwert ⁽⁵⁾	108	kein Messwert ⁽⁵⁾
Probe 2	1,3	0,77	3,9
Probe 3	0,6	2,18	8,8

4.5 Gegenüberstellung der durchschnittlichen Beschaffenheit von häuslichem Abwasser mit den Abwasserproben

Um die Messwerte des Versuches mit häuslichem Abwasser gegenüberzustellen wird die Tabelle Tab. 4.8 (siehe [1, S. 29]) genutzt.

Tab. 4.8: Tabellenausschnitt zur durchschnittlichen Beschaffenheit von häuslichem Abwasser [1, S. 29]

Kriterium	Maßeinheit	Belastungsgrad		
		gering	mittel	stark
pH-Wert	-	6,6	7,6	8,6
N_{ges}	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	20	50	85
P_{ges}	$\frac{\text{mg}}{\text{L}}$	7	20	30

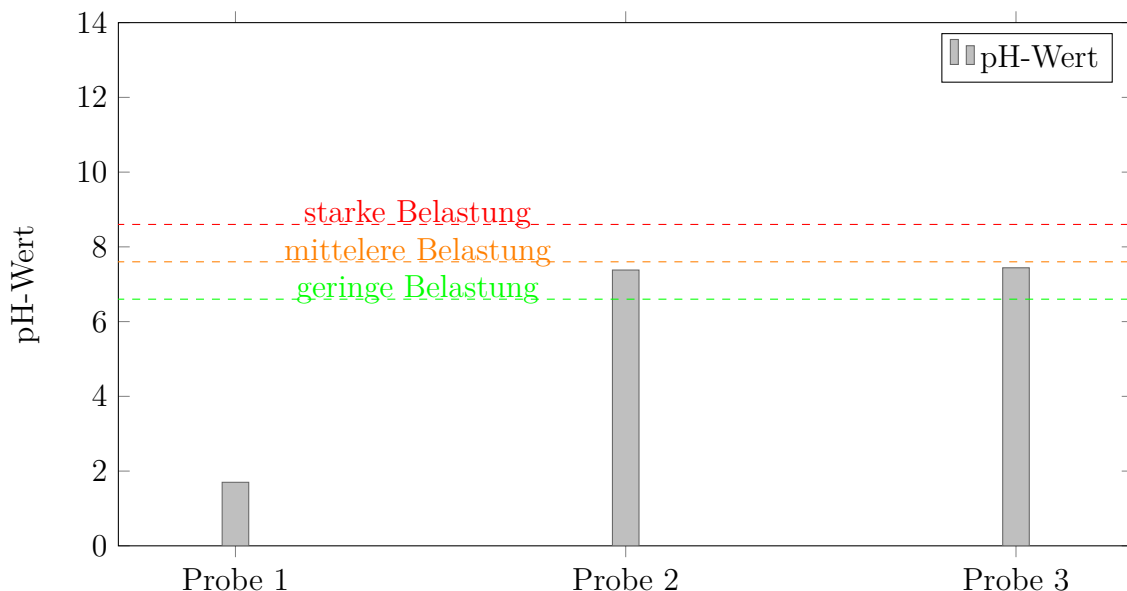


Abb. 4.2: pH-Wert-Beschaffenheit der Abwasserproben 1 bis 3

⁽⁵⁾kein Messwert für Phosphat- bzw. Ammoniumgehalt vorhanden

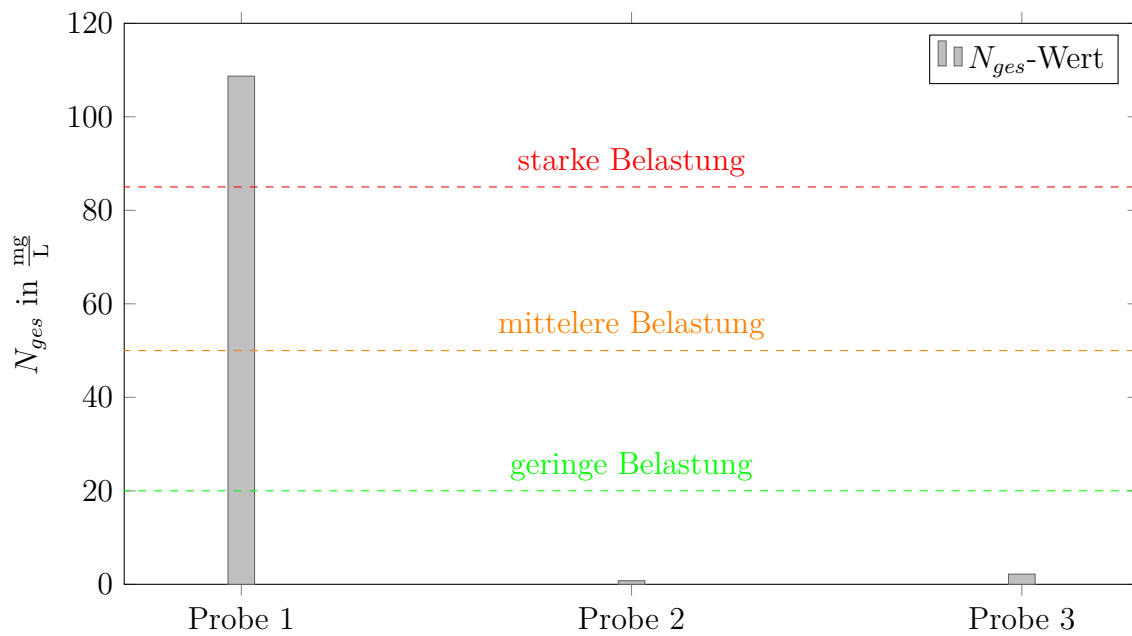


Abb. 4.3: N_{ges} -Beschaffenheit der Abwasserproben 1 bis 3

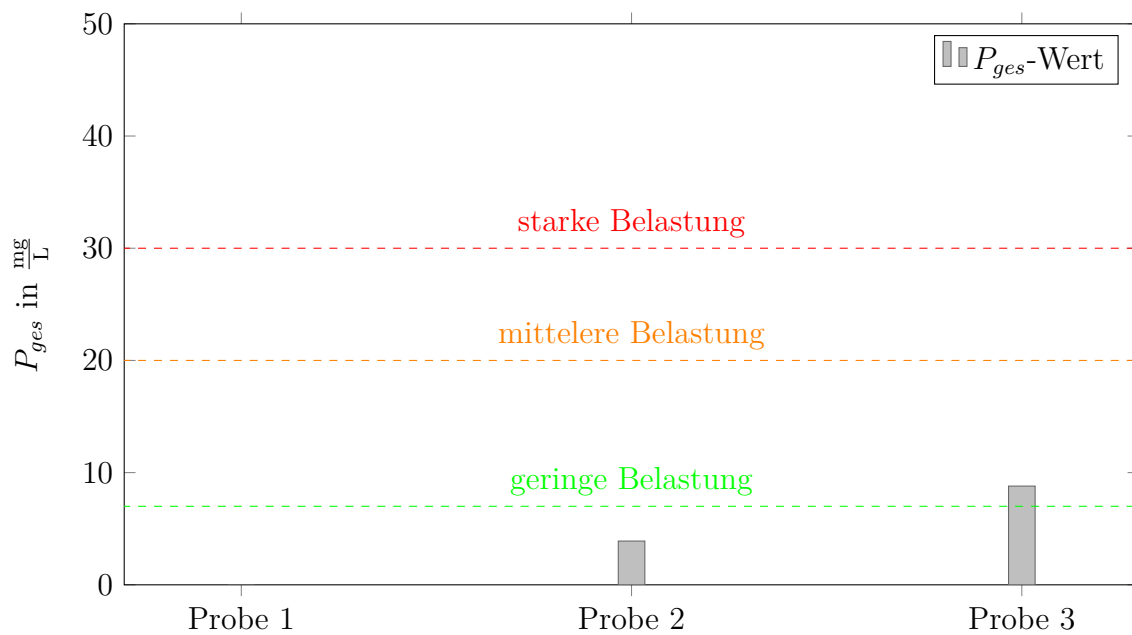


Abb. 4.4: P_{ges} -Beschaffenheit der Abwasserproben 1 bis 3

5 Diskussion

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

Begonnen wird mit der Auswertung der Sinnesprüfung und der Einschätzung über die Herkunft der Abwasserproben 1 bis 3.

Die Wasserprobe 1 ist sehr trüb und riecht leicht erdig und muffig. Die starke Trübung und die dunkelbraune bis schwarze Farbe ist wahrscheinlich organischen Ursprungs. Es könnte sich hierbei um Wasser aus einem Sumpfgebiet handeln. Es kann kein Wasser sein, dass bereits durch den Boden gefiltert wurde. Die für Moore typische anaerobe Zersetzung führt zu einem absinken des pH-Wertes. Der gleiche Prozess könnte auch in einem Faulturm stattgefunden haben. Tatsächlich wurde ein sehr niedriger pH-Wert für diese Probe von 1,7 festgestellt (siehe Tab 4.3). Der niedrige pH-Wert verhinderte darauffolgende Phosphat- und Ammoniummessungen mittels foto- bzw. kolorimetrischer Messmethoden.

Die Wasserprobe 2 ist ebenfalls sehr dunkel gefärbt und sehr trüb. Noch dazu riecht sie stark moderig und faulig. Es handelt sich hierbei wahrscheinlich um ein Abwasser, in welchem organische Anteile von Mikroorganismen unter Ausstoß von Schwefelwasserstoff und anderen charakteristischen Geruchsstoffen zersetzt werden oder wurden. Auch dieses Wasser wird höchstwahrscheinlich von der Oberfläche stammen. Die Probe enthält im Vergleich sehr wenig Ammonium- als auch Phosphat- und Nitrationen (siehe Tab. 4.3). *Diese müssen noch in der Biomasse gebunden vorliegen.*

Die Wasserprobe 3 ist nur schwach getrübt und es ist nur ein sehr schwacher Geruch wahrnehmbar. Es sind vergleichsweise hohe Konzentrationen an Phosphat- und Nitrationen nachweisbar (siehe Tab. 4.3). Gegenüber der Probe 2 liegen weniger Ammoniumionen vor. Es liegt nah, dass die Probe 3 bereits einen Klärprozess durchlaufen hat, bei dem organische Trübstoffe abgebaut und die enthaltenen Nährstoffe freigesetzt wurden sein könnten.

In Anbetracht dessen, dass die Proben im Rahmen eines Praktikums gegeben sind, wäre es möglich, dass sie aus verschiedenen Phasen der Abwasserbehandlung stammen. In diesem Fall könnte die Probe 2 das ankommende Schmutzwasser, die Probe 2 das Wasser während der Belüftung und die Probe 3 Wasser vor der Phosphatabscheidung darstellen.

Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen liegt auf Phosphat- und Stickstoffverbindungen, da diese wichtige und in vielen Fällen limitierende Nährstoffe für das Pflanzenwachstum darstellen. Stickstoffverbindungen gelangen dabei als Abbauprodukte organischer Verbindungen wie Harnstoffe oder Fäkalien, sowie aus industriellen Abwässern an. Gerade die Umwandlung von Ammonium- in Nitratverbindungen verbraucht Sauerstoff, der beispielsweise dem Ökosystem See fehlt und zum Fischsterben führen kann. Zudem verschärft sich dieser Sauerstoffverbrauch immer weiter, da die entstehenden Nitrate als Dünger für Pflanzen wirken und bei deren Absterben ebenfalls wieder Sauerstoff für die Zersetzung nötig ist [2]. Des Weiteren kann Ammoniak gelöst bereits in geringen Konzentrationen zu einem Sterben von Wasserlebewesen führen [3]. Phosphorverbindungen wirken ähnlich sauerstoffzehrend wie Nitratverbindungen durch ihren Düngungseffekt bei Pflanzen. Diese Verbindungen stammen meist aus anorganischen Düngemitteln, welche in der Landwirtschaft eingesetzt werden und über Versickerung in das Grundwasser und somit in weitere Gewässer gelangt [2, 4]. Somit bestimmen die Konzentrationen der genannten Verbindungen das Algen- bzw. Pflanzenwachstum in den Gewässern in besonderem Maße und sind damit für das Umkippen von aquatischen Ökosystemen verantwortlich. Um die Gewässer vor solch einer sogenannten Eutrophierung zu bewahren, müssen die Abwässer von obigen Nährstoffen befreit werden.

Im Weiteren folgt die Diskussion, ob die elektrochemischen, fotometrischen und kolorimetrischen Bestimmungen der Abwasserproben den Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in einen Vorfluter der Größenklasse 5 entsprechen [1, S. 29].

Die Mindestanforderungen für das Einleiten kommunaler Abwässer in den Vorfluter bei einer Anlage der Größenklasse 5 sind bei den getesteten Wasserproben 1 bis 3 nur teilweise erfüllt, wie in Tab. 4.7 und Abb. 4.1 nachzuvollziehen. Zu erkennen ist, dass keine der drei Proben den Grenzwert für den Ammoniumgehalt von $10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ überschreitet. Stark auffallend ist dafür jedoch die Konzentration des anorganisch gebundenen Gesamtstickstoffs, welche durch die Probe 1 um mehr als das achtfache überschritten wird. Dieses Abwasser müsste zur Einhaltung des Grenzwertes weiter denitrifiziert werden. Die Proben 2 und 3 halten den Grenzwert für anorganisch gebundenen Gesamtstickstoff ein. Den Abwässern der Proben 2 und 3 muss Phosphor entzogen werden, da sie den Grenzwert von $1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ beinahe um das vier- bzw. achtfache überschreiten. Für Probe 1 ist aufgrund des zu geringen pH-Wertes keine Bestimmung des Phosphatgehaltes mit gegebenen Mitteln möglich. Eine Belastung der Probe 1 mit Phosphaten ist daher nicht auszuschließen und müsste über alternative Messmethoden bestimmt werden.

Die Abbildungen 4.2 bis 4.4 stellen die gemessenen Parameter der Abwasserproben im Vergleich zu üblichen häuslichen Abwässern dar [1, S. 29]. Aus der Abbildung 4.2 in Bezug auf den pH-Wert geht hervor, dass die Proben 2 und 3 nahezu mittelstark belastet sind. Der etwas basische pH-Wert ließe sich zum Beispiel sehr kostengünstig durch die Zugabe kleiner Mengen einer verträglichen Säure korrigieren. Die Einstufung der Belastungsgrade anhand des pH-Wertes in der Art wie es hier erfolgen soll, weist eine entscheidende Schwäche auf:

Abwässer welche sehr sauer sind, gelten nach Tab. 4.8 als gering belastet. Ein Abwasser mit dem pH-Wert von Probe 1 kann in natürlichen Gewässern und an der Abwasserentsorgungsinfrastruktur bei großen Einleitvolumina beträchtlichen Schaden anrichten, da bereits ab einem pH-Wert von unter 5,5 Kleinstlebewesen geschädigt werden [5].

Die Gesamtstickstoffgehalte der Abwässer werden in der Abbildung 4.3 dargestellt. Es geht daraus hervor, dass die Probe 1 stark belastet ist. Die Proben 2 und 3 sind im Vergleich zu häuslichen Abwässern sehr gering belastet und erfordern keinen weiteren Handlungsbedarf.

Die Abbildung 4.4 bildet schließlich die Werte für den Gesamtphosphorgehalt im Vergleich zum häuslichen Abwasser ab. Alle drei untersuchten Proben schneiden in diesem Fall gut, sprich mit einer geringen Belastung, ab.

Die Behandlung der untersuchten Abwässer kann durch eine herkömmliche Kläranlage erfolgen. Beim Einleiten in die Kanalisation vermischen sich die Abwässer mit dem Abwasserstrom. Darum könnte man vermuten, dass zum Teil stark belastete Abwässer, wie die Probe 1, verdünnt werden würden und stellen bei Ankunft im Klärwerk keine zusätzliche Herausforderung mehr dar. Der Anteil an der Gesamtabwassermenge würde dabei vernachlässigbar bleiben.

6 Fehlerbetrachtung

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

Die Bestimmungen via Sinnesprüfung erfolgten sehr subjektiv. Zwar wurde die Meinung über Geruch, Färbung und Trübung zwischen allen drei Praktikumsteilnehmern diskutiert, es sollten die Ergebnisse in Tab. 3.1 und Tab. 3.2 dennoch als kritisch betrachtet werden und der Fokus eher auf die qualitativen Messergebnisse gerichtet werden.

Für die elektrochemische Messung wurden die Proben 1 bis 3 sowohl filtriert und unfiltriert untersucht. Die Messwerte in Tab. 4.3 unterscheiden sich dabei nur minimal. Die Unterschiede in Leitfähigkeit und pH-Wert können sich dabei auf die gefilterten Schwebstoffe zurückführen lassen. Sind minimale Stoffkonzentrationen an ihnen adsorbiert, könnten diese schon Einfluss auf den pH-Wert nehmen.

Deutlich bedeutsamer für die Fehlerbetrachtung scheint in diesem Versuch jedoch die pH-Wert-Elektrode. Sie ist laut dem Messgerät schon zu alt (dargestellt durch ein blinkendes Elektrodensymbol) und hat dementsprechend lange Ansprechzeiten, um Veränderungen des pH-Wertes aufzunehmen. Diese müsste dementsprechend gewechselt werden, um zuverlässigere Ergebnisse zu erhalten. Zudem ist auch die Kalibrierung der pH-Elektrode zu hinterfragen. Diese ist auf 25 °C eingestellt, obwohl im Schnitt Raumtemperaturen zwischen 17,5-18 °C gemessen wurden. Da der pH-Wert temperaturabhängig ist, würden sich durch die falsche Kalibrierung Abweichungen zum tatsächlichen pH-Wert feststellen lassen. Diese Abweichungen betragen bei dieser Temperaturdifferenz von 5 K jedoch nur $\approx 1\%$ und sind für die grobe Einschätzung in diesem Versuch vernachlässigbar [6].

Im Weiteren erfolgt die Fehlerbetrachtung der foto- bzw. kolorimetrischen Messdaten (siehe Tab. 4.4). *Die Betrachtung des gesamten anorganisch gebundenen Stickstoffs oder Phosphors ist nur sinnvoll, wenn das Wasser praktisch frei von Biomasse ist. Die Biomasse würde ansonsten später zersetzt werden und dann die enthaltenen Nährstoffe abgeben, die aber nicht erfasst wurden, da sie sich ja nicht in Lösung befanden. Die Proben eins und zwei enthielten nicht zersetzte Biomasse und unterliegen damit obigem Einfluss.*

Das Testen der Wasserproben mit Schnellteststäbchen ist eine schnelle aber weniger genaue Analysemethode. Der Vergleich des eingefärbten Indikators mit dem Verpackungsaufdruck ist zum Teil an die subjektive Farbwahrnehmung des Testers gebunden und gibt daher nur eine grobe Einschätzung. Die Auswertung der Indikatorfärbung mit dem Reflektometer umgeht diesen Einflussfaktor. Jedoch können auch hier durch zufällige Messfehler und durch mangelhafte Kalibrierung Abweichungen vom realen Wert auftreten. Die Indikatoren unterliegen vermutlich auch diversen anderen Umwelteinflüssen, welche das Farbresultat abweichen lassen. Die Analyse mit Schnellteststreifen erforderte die Einhaltung gewisser Einwirkzeiten. Die Einwirkzeiten wichen gelegentlich um wenige Sekunden vom empfohlenen Wert ab.

Das Alter der Schnellteststreifen ist ein weiterer entscheidender Einflussfaktor. Einige der Teststreifen hatten ihr Mindesthaltbarkeitsdatum bereits um mehr als ein Jahr überschritten. Die genauen Auswirkungen der Überalterung sind nicht bekannt. Betroffen waren davon die Reflektometertestreagenzien für Ammonium, die Schnellteststreifen für Nitrat und die Schnellteststreifen für Phosphat. Zudem erfolgte die Verdünnung der Probe unter erschwerten Bedingungen, da der anfänglich verwendete Messzylinder einen großen Riss aufwies, durch welchen ein Teil der Lösung verloren ging. Das unverzügliche Umfüllen der verbliebenen Lösung ermöglichte die Weiterverwendung der Probe. Es wurde angenommen, dass die ausgetretene Flüssigkeit bereits ideal durchmischt war und so die Konzentration nicht beeinflusst wurde.

Literaturverzeichnis

- [1] PROF. DR.-ING. DIETMAR HEINZ, Prof. Dr.-Ing. Hilke W.: Praktikumsskript, Umwelttechnik. (2019)
- [2] ONLINE-BÜRO, Stadt N.: *Schmutzstoffe und Schadstoffe im Abwasser - Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg*. Version: 24.08.2015. https://www.nuernberg.de/internet/sun/abwasser_schadstoffe.html#2, Abruf: 05.12.2019
- [3] ABWASSER ANALYSEZENTRUM REBLU GMBH (Hrsg.): *Anorganischer Gesamtstickstoff*. <https://www.abwasser-analysezentrum.de/parameteruebersicht/anorganischer-gesamtstickstoff>, Abruf: 14.12.2019
- [4] ABWASSER ANALYSEZENTRUM REBLU GMBH (Hrsg.): *Gesamtposphor*. <https://www.abwasser-analysezentrum.de/parameteruebersicht/gesamtposphor>, Abruf: 14.12.2019
- [5] ONLINE-BÜRO, Stadt N.: *Gewässergüte-Parameter - Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg*. Version: 24.08.2015. https://www.nuernberg.de/internet/sun/gewaesser_parameter.html, Abruf: 14.12.2019
- [6] PROF. RÜDIGER BLUME: *Prof. Blumes Medienangebot: Wasser und Leben*. Version: 30.11.2019. <http://www.chemieunterricht.de/dc2/wasser/pH-T.htm>, Abruf: 04.12.2019