

Lea Marie Steinmann, Jg. Q2
Leibniz – Gymnasium
Schuljahr 2014/15

Ist schmutziges Wasser gleich verschmutzt?



Kurs: Chemie Projektkurs
Fachlehrer: Hr. Mügge
Abgabedatum: 18. März 2015

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Vorwort	1
2 Einführung in das Verfahren	2
3 Photometrie	2
4 Vorstellung der Ergebnisse	4
4.1 pH – Wert	4
4.2 Sauerstoffgehalt und – sättigung	5
4.2.1 Bedeutung des Sauerstoffs	5
4.2.2 Titration nach WINKLER	5
4.2.3 Ergebnis und weitere Berechnung	7
4.2.4 Diskussion möglicher Fehlerquellen	8
4.3 Phosphatgehalt	9
4.3.1 Bedeutung des Phosphatgehaltes	9
4.3.2 Photometrische Bestimmung des Phosphatgehaltes	10
4.4 Sulfatgehalt	11
4.4.1 Bedeutung des Sulfatgehaltes	11
4.4.2 Photometrische Bestimmung des Sulfatgehaltes	12
4.5 Gehalt an gelösten Stickstoffverbindungen	13
4.5.1 Bedeutung des Stickstoffes	13
4.5.2 Photometrische Bestimmung des Nitritgehaltes	14
4.5.3 Photometrische Bestimmung des Nitratgehaltes	15
4.5.4 Photometrische Bestimmung des Ammoniumgehaltes	15
5 Résumé in besonderem Hinblick auf die Sauerstofffrage	17
6 Beurteilung des Gewässers und Beantwortung der Leitfrage	17

1. Vorwort

Wodurch erkennt man die Verschmutzung eines Gewässers? Im Alltag würden die meisten Menschen wahrscheinlich auf den Grad der Trübung, den Geruch und andere oberflächliche Anzeichen eingehen. Diese können auch durchaus wichtige Indizien zur Bewertung eines Gewässers sein, doch letztlich sind die Faktoren ausschlaggebend, die man nicht mit bloßem Auge erkennen kann. So kann auch ein augenscheinlich schmutziges Gewässer einen sehr guten Zustand aufweisen, während der klarste See dagegen unserer Definition von „verschmutzt“ entsprechen kann.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, inwieweit man von der äußeren Erscheinung eines Gewässers auf seinen tatsächlichen Zustand schließen kann.

Zu diesem Zweck wurde eine Wasseranalyse des Mühlenbachs, welcher unter Naturschutz steht, zu ausgewählten Parametern durchgeführt und die Ergebnisse im Sachzusammenhang gedeutet.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind jedoch differenziert zu betrachten. Es wurde nur ein kleiner Teil der relevanten Größen untersucht, darunter keine Betrachtung von Mikroorganismen, da dies im schulischen Rahmen kaum zu verwirklichen ist.

Das Projekt stellt damit mehr eine Miniaturversion einer Wasseranalyse dar. Es gibt einen Einblick in die Thematik, ist aber nicht als universell anzusehen.

2. Einführung in das Verfahren

Die zu untersuchende Wasserprobe wurde am Dienstag, den 13. Januar 2015, bei 11°C Außentemperatur und 7°C Wassertemperatur entnommen. Das Wasser wirkt trüb und es scheint viele Schwebstoffe zu enthalten. Es ist dementsprechend „schmutzig“¹.

Kurz vor der Probenentnahme wirkten – soweit man dies beurteilen kann – keine ungewöhnlichen Einflüsse auf das Gewässer ein, etwa die Zugabe eines Düngemittels oder ähnliche Verschmutzungen, die die Ergebnisse beeinflussen können. Die Entnahme und die Aufbewahrung erfolgten in einer handelsüblichen Glasflasche mit Schraubverschluss. Dabei wurde darauf geachtet, dass möglichst keine Luft in der Flasche eingeschlossen wird und dass nur wenig Schwebstoffe mit entnommen werden, da auch diese ggf. die Ergebnisse in gewissem Maß verfälschen können.

Die Probe wurde bis zum Zeitpunkt der Bearbeitung gekühlt gelagert. Davon auszunehmen sind die Transportzeiten. Effektivere Möglichkeiten der Konservierung waren nicht zu verwirklichen, da die üblichen Konservierungsmittel nur schwer zugänglich oder umweltschädlich sind.

Die Untersuchung erfolgte vollständig² am Nachmittag des 14. Januar 2015, also innerhalb von 24 Stunden.

3. Photometrie

Als Photometrie bezeichnet man ein Messverfahren, bei der die Absorption von Licht im sichtbaren Spektrum³ gemessen wird.

Das Verfahren wird heutzutage für industrielle Zwecke wie Ingenieurwissenschaft angewandt. So wird es für Photovoltaikanlagen gebraucht. Ein anderes Anwendungsgebiet ist die industrielle Technik zur Messung von unterschiedlichen Parametern, die zur Qualitätskontrolle benötigt werden. Außerdem wird die Photometrie in der chemischen und biochemischen sowie medizinischen Analytik verwendet.⁴ Sie dient dem qualitativen und quantitativen Nachweis von lichtabsorbierenden chemischen Verbindungen. So kann man sich dieses Verfahren auch zur Wasseranalytik zunutze machen.

1 „schmutzig“ im Sinne der Leitfrage (s. Vorwort)

2 Nach einigen Komplikationen in der vorigen Woche wurde die komplette Analyse unter Berücksichtigung eines effektiveren Zeitmanagements erneut durchgeführt.

3 ca. 380nm bis 780nm

4 Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Photometrie>

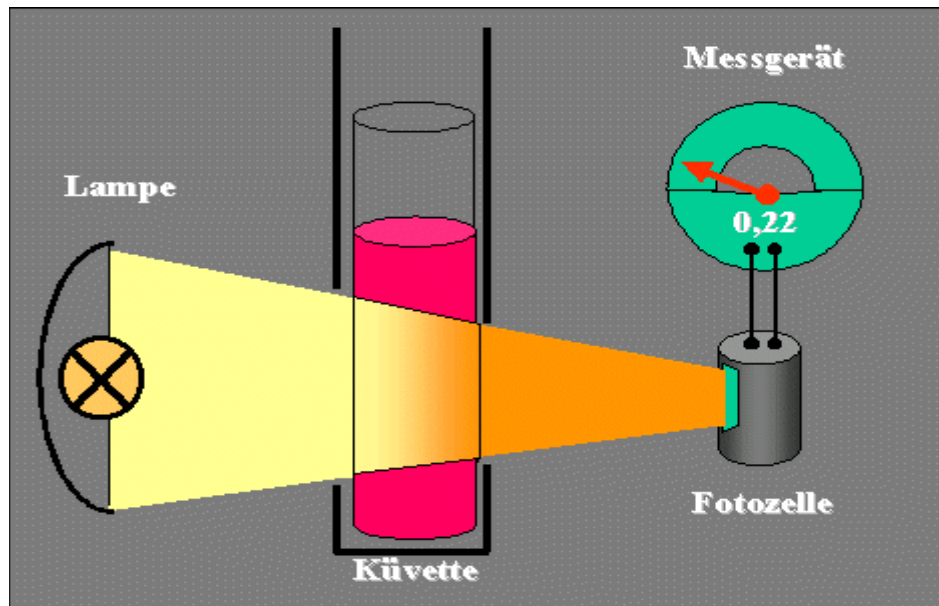


Abbildung 1: Arbeitsweise eines Photometers

Wie man an der Abbildung erkennen kann, wird Licht, dessen Wellenlänge reguliert werden kann, durch eine Kuvette mit einer Farbstofflösung gestrahlt. Dieses Licht trifft auf der Photozelle auf, nachdem es die Lösung passiert hat. An der Photozelle wird die Differenz zwischen dem ausgesandten Licht und dem eintreffenden Licht gemessen. Daraus lässt sich die Absorption bzw. Extinktion ableiten. Sind neben der Extinktion auch die Schichtdicke der Kuvette und der sogenannte Extinktionskoeffizient, eine stoffspezifische und von der Wellenlänge abhängige Eigenschaft, bekannt, kann man auf die Konzentration des gelösten Stoffes schließen. Zu diesem Zweck zieht man das *LAMBERT – BEERSCHER – GESETZ*⁵ hinzu:

$$E = \epsilon(\lambda) \cdot d \cdot c \text{ mit:}$$

E – Extinktion

$\epsilon(\lambda)$ – Extinktionskoeffizient in Abhängigkeit von der Wellenlänge

d – Schichtdicke in cm

c – Konzentration

Die drei Größen Extinktionskoeffizient, Extinktion und Schichtdicke sind bei üblichen photometrischen Verfahren bekannt. Der Extinktionskoeffizient $\epsilon(\lambda)$ ist eine für jeden Stoff konstante Größe, die Extinktion E wird bei dem Verfahren bestimmt und die Schichtdicke d ist für das jeweilige Photometer genormt. Ein modernes Photometer kann

⁵ 1852

auf dieser Grundlage die Konzentration des Farbstoffs berechnen. Auf diese Weise ist auch die Konzentration eines zuvor angegebenen gelösten Stoffes zu ermitteln.⁶

Dieses Prinzip wurde auch bei den meisten der bei diesem Projekt zu untersuchenden Parametern angewandt. Dafür werden die gelösten Stoffe durch Zugabe von verschiedenen Chemikalien zu absorbierenden Stoffen umgesetzt, welche photometrisch erfasst werden können. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Farbstoffe, teilweise jedoch auch um feste Niederschläge.

4. Vorstellung der Ergebnisse

Parameter	Methode	Ergebnisse
pH-Wert	pH-Meter	pH = 7,1
Sauerstoff	Titration nach WINKLER	1,448 mg/L
Phosphat	Photometrie	0,9 mg/L
Sulfat	Photometrie	57 mg/L
Nitrit	Photometrie	0,82 mg/L
Nitrat	Photometrie	20,19 mg/L
Ammonium	Photometrie	< 0,05 mg/L

Die hier im Überblick dargestellten Ergebnisse geben in dieser Form noch keine Auskunft über die Bedeutung der Parameter und ihren Ausfall im Sachzusammenhang. Dies soll differenziert jeweils bei der Vorstellung der einzelnen Untersuchungen sowie am Ende der Arbeit folgen.

4.1. pH - Wert

Der pH – Wert ist ein abiotischer Faktor, welcher unter Umständen große Auswirkungen auf ein Biotop wie einen See oder wie in diesem Fall ein Fließgewässer haben. Organismen besitzen unterschiedliche Toleranz – und Optimalbereiche bezogen auf verschiedene abiotische Faktoren eines Ökosystems. Da die pH – Toleranz bei den meisten mehrzelligen Lebewesen im engeren Bereich um pH = 7 liegen⁷, ist keine Besonderheit des gemessenen pH – Wertes festzustellen, sodass eine weiterführende Diskussion des Wertes nicht notwendig ist.

⁶ Vgl. Otto, Matthias: Analytische Chemie, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 3. Auflage 2006, S. 284 ff.

⁷ Vgl. de.wikipedia.org/wiki/Extremophile

Der pH – Wert ist als negativer dekadischer Logarithmus der Konzentration der Oxoniumionen definiert.

Für den in diesem Fall mit einem pH – Meter gemessenen pH – Wert von 7,1 ergibt sich also folgende Rechnung:

$$\text{pH} = -\log[\text{c}(\text{H}_3\text{O}^+)]$$

$$\text{pH} = 7,1$$

$$10^{(-7.1)} = \text{c}(\text{H}_3\text{O}^+)$$

$$\text{c}(\text{H}_3\text{O}^+) = 7,943 \times 10^{(-8)} \text{ mol/L}$$

4.2. Sauerstoffgehalt und – Sättigung

4.2.1. Bedeutung des Sauerstoffs

Die Bedeutung des Sauerstoffs im Allgemeinen zu erläutern, kann einer Erkenntnisgewinnung im wissenschaftlichen Rahmen kaum förderlich sein. Aus diesem Grund soll im Folgenden lediglich kurz auf den Einfluss des Sauerstoffs in einem Gewässer als Lebensraum eingegangen werden.

Als Reaktionspartner für unterschiedlichste Vorgänge im Biotop kann der im Wasser gelöste Sauerstoff sowohl Indikator als auch Ursache für den Zustand des Gewässers sein. Dies ist unter Anderem auch für die im späteren Verlauf erörterten Gehälter an Phosphat, Sulfat und Stickstoff. Bei diesen Beispielen und auch bei anderen untersuchbaren Größen sind aerobe bzw. anaerobe Bakterien ausschlaggebend, sodass der Sauerstoffgehalt den Zustand des Gewässers beeinflusst und von eben diesem beeinflusst wird.

sww

4.2.2. Titration nach *WINKLER*

Versuchsanordnung:

Eine Winklerflasche wird ohne Lufteinschlüsse mit der Probe gefüllt. 1 mL Manganchlorid – Lösung sowie 1 mL Kaliumiodid – Lösung werden hinzugegeben. Die Flüssigkeit erhält eine gelbe Färbung und es kommt zu einem festen Niederschlag. Man gibt 2 mL konzentrierte Phosphorsäure hinzu. Hat sich der Niederschlag vollständig aufgelöst, titriert man die Lösung mit Natriumthiosulfat mit $c = 0,01 \text{ mol/L}$, bis die Lösung vollständig entfärbt ist.

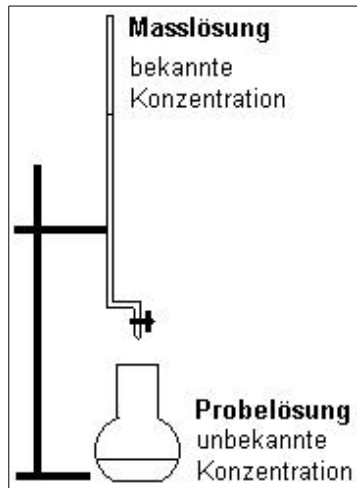
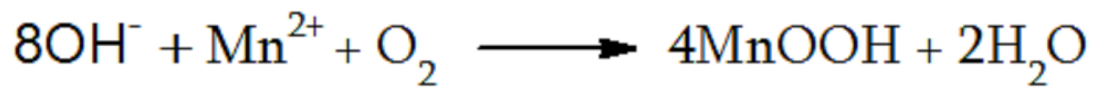


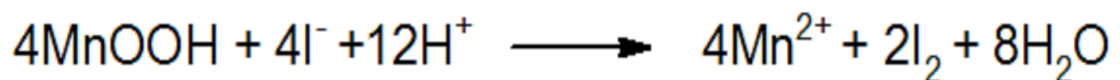
Abbildung 2: allgemeine Versuchsanordnung bei Titration

Die daran beteiligten Reaktionen laufen wie folgt ab:

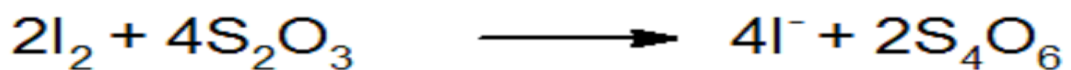
Bei Zugabe von Manganchlorid und Kaliumiodid wird der Sauerstoff vollständig⁸ in Form von Manganit gebunden, welches als brauner Niederschlag ausfällt:



Dieser Niederschlag wird durch Hinzufügen einer Säure aufgelöst, indem der Feststoff zu Manganionen und Wasser reagieren. Die im vorherigen Schritt zugefügten Iodidionen werden hierbei zu elementarem Iod oxidiert, welches für die Gelbfärbung verantwortlich ist:



Im letzten Schritt wird diese Lösung mit Natriumthiosulfat titriert. Das elementare Iod wird wieder zu Iodidionen reduziert, sodass sich die Lösung entfärbt:

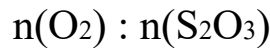


⁸ Mit Vorbehalt, für nähere Diskussion s. Kapitel 4.2.4.

4.2.3. Ergebnis und weitere Berechnung

Bei Durchführung dieser Methode mit der zu analysierenden Wasserprobe ist ein Verbrauch an Thiosulfat von 18,1 mL festzustellen.

Wie man an den Reaktionsgleichungen erkennen kann, reagieren Sauerstoff und Thiosulfat in folgendem Verhältnis:



$$1 : 4$$

Vor diesem Hintergrund kann man mit den Angaben $V(\text{S}_2\text{O}_3) = 18,1 \text{ mL} = 0,0181 \text{ L}$ sowie $c(\text{S}_2\text{O}_3) = 0,01 \text{ mol/L}$ den Gehalt an gelöstem Sauerstoff wie folgt ermitteln:

$$c = n/V$$

$$c \times V = n$$

$$n(\text{S}_2\text{O}_3) = 0,01 \text{ mol/L} \times 0,0181 \text{ L} = 1,81 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2) = n(\text{S}_2\text{O}_3) / 4 = 4,525 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

$$M = m/n$$

$$M \times n = m$$

$$M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol} \times 4,525 \times 10^{-5} \text{ mol} = 1,448 \times 10^{-3} \text{ g} = 1,448 \text{ mg}^9$$

°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L
0,0	14,16	0,1	14,12	0,2	14,08	0,3	14,04	0,4	14,00	0,5	13,97	0,6	13,93	0,7	13,89	0,8	13,85	0,9	13,81	1,0	13,77
1,0	13,77	1,1	13,74	1,2	13,70	1,3	13,66	1,4	13,63	1,5	13,59	1,6	13,55	1,7	13,51	1,8	13,48	1,9	13,44	2,0	13,40
2,0	13,40	2,1	13,37	2,2	13,33	2,3	13,30	2,4	13,26	2,5	13,22	2,6	13,19	2,7	13,15	2,8	13,12	2,9	13,08	3,0	13,05
3,0	13,05	3,1	13,01	3,2	12,98	3,3	12,94	3,4	12,91	3,5	12,87	3,6	12,84	3,7	12,81	3,8	12,77	3,9	12,74	4,0	12,70
4,0	12,70	4,1	12,67	4,2	12,64	4,3	12,60	4,4	12,57	4,5	12,54	4,6	12,51	4,7	12,47	4,8	12,44	4,9	12,41	5,0	12,37
5,0	12,37	5,1	12,34	5,2	12,31	5,3	12,28	5,4	12,25	5,5	12,22	5,6	12,18	5,7	12,15	5,8	12,12	5,9	12,09	6,0	12,06
6,0	12,06	6,1	12,03	6,2	12,00	6,3	11,97	6,4	11,94	6,5	11,91	6,6	11,88	6,7	11,85	6,8	11,82	6,9	11,79	7,0	11,76
7,0	11,76	7,1	11,73	7,2	11,70	7,3	11,67	7,4	11,64	7,5	11,61	7,6	11,58	7,7	11,55	7,8	11,52	7,9	11,50	8,0	11,47
8,0	11,47	8,1	11,44	8,2	11,41	8,3	11,38	8,4	11,36	8,5	11,33	8,6	11,30	8,7	11,27	8,8	11,25	8,9	11,22	9,0	11,19
9,0	11,19	9,1	11,16	9,2	11,14	9,3	11,11	9,4	11,08	9,5	11,06	9,6	11,03	9,7	11,00	9,8	10,98	9,9	10,95	10,0	10,92
10,0	10,92	10,1	10,90	10,2	10,87	10,3	10,85	10,4	10,82	10,5	10,80	10,6	10,77	10,7	10,75	10,8	10,72	10,9	10,70	11,0	10,67
11,0	10,67	11,1	10,65	11,2	10,62	11,3	10,60	11,4	10,57	11,5	10,55	11,6	10,53	11,7	10,50	11,8	10,48	11,9	10,45	12,0	10,43
12,0	10,43	12,1	10,40	12,2	10,38	12,3	10,36	12,4	10,34	12,5	10,31	12,6	10,29	12,7	10,27	12,8	10,24	12,9	10,22	13,0	10,20
13,0	10,20	13,1	10,17	13,2	10,15	13,3	10,13	13,4	10,11	13,5	10,09	13,6	10,06	13,7	10,04	13,8	10,02	13,9	10,00	14,0	9,98
14,0	9,98	14,1	9,95	14,2	9,93	14,3	9,91	14,4	9,89	14,5	9,87	14,6	9,85	14,7	9,83	14,8	9,81	14,9	9,78		

Abbildung 3: Sauerstofflöslichkeit in Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur

⁹ Bezogen auf 1 Liter

Die Sauerstoffsättigung ergibt sich aus der maximalen Löslichkeit von Sauerstoff bei der entsprechenden Temperatur (s. Abb. 3). Für 7°C, also die Entnahmetemperatur, beträgt die maximale Sauerstofflöslichkeit 11,76 mg/L. Daraus folgt:

$$11,76 \text{ mg} = 100 \%$$

$$1 \text{ mg} \approx 8,503 \%$$

$$1,448 \text{ mg} = \underline{12,313 \%}$$

Die Sauerstoffsättigung des Untersuchten Fließgewässers würde demnach also lediglich gut 12% betragen.

4.2.4. Diskussion möglicher Fehlerquellen

Eine Sauerstoffsättigung von 12% in einem Gewässer wäre ein alarmierendes Anzeichen für eine starke Verschmutzung des Gewässers.¹⁰ Da dies jedoch nicht mit den anderen Untersuchungsergebnissen in Einklang gebracht werden kann, ist bei der Untersuchung des Sauerstoffgehalts mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein Fehler unterlaufen. Auf die Hinweise darauf wird an den entsprechenden Stellen im weiteren Verlauf der Arbeit hingewiesen.

Eine mögliche Fehlerquelle ist üblicherweise Ungenauigkeit bei der Messung. Bei der angewandten *WINKLER* – Methode ist eine solch enorme Abweichung aufgrund von Ungenauigkeit jedoch unwahrscheinlich.

Als weitere Fehlerquelle ist eine unzureichende Aufbewahrung in Betracht zu ziehen. Es ist durchaus möglich, dass Sauerstoff aufgrund der Erwärmung während des Transports aus der Probe ausgetreten ist. Wahrscheinlich war das genutzte Behältnis nicht vollständig abgedichtet, sodass geringe Mengen Sauerstoff verloren gehen. Auch dies ist wahrscheinlich nicht bzw. nur zu geringen Anteilen Grund für die starke Abweichung, da die Erwärmung nur geringfügig gewesen sein kann¹¹ und die Probe ansonsten kühl und nur über einen geringen Zeitraum unbehandelt blieb. So kann der Effekt auch auf diese Weise ebenfalls nur gering ausfallen.

Am wahrscheinlichsten ist die Annahme, dass die verwendeten Chemikalien nicht in Ordnung gewesen sind. Dafür spricht, dass die Substanzen bereits lange aufbewahrt wurden und man bei der Manganchlorid – Lösung größere Mengen an festem

10 Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCteklasse>

11 Bei 11°C (Außentemperatur des Entnahmetages) beträgt die maximale Sättigung 10,67 mg/L. Der gemessene Sauerstoffgehalt entspräche demnach etwa 13,57%.

Niederschlag feststellen konnte. In diesem Fall spricht viel dafür, dass der gelöste Sauerstoff nicht vollständig gebunden wurde. Dementsprechend kann er auch nicht in vollem Maß erfasst werde. Dies kann unter Umständen auch zu höheren Abweichungen führen, wie es hier höchstwahrscheinlich der Fall war.

4.3. Phosphatgehalt

4.3.1. Bedeutung des Phosphatgehaltes¹²

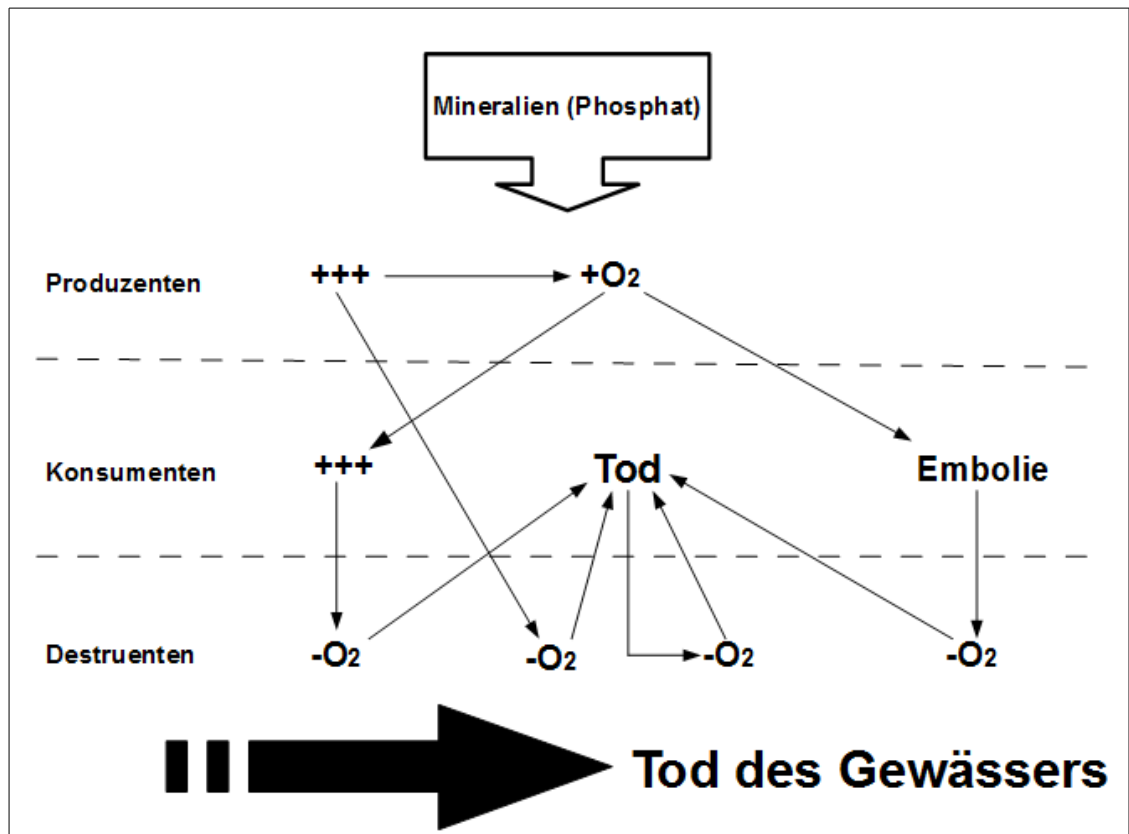


Abbildung 4: Abläufe in einem Gewässer bei unverhältnismäßiger Mineralienzufuhr

Bei Phosphat handelt es sich um einen Pflanzennährstoff von vielen. Das Phosphat wurde zur Untersuchung ausgewählt, um beispielhaft die Bedeutung von Mineralien in natürlichen Gewässern aufzuzeigen. Das Diagramm (Abb. 4) sowie die nachfolgende Erläuterung gilt für alle üblichen Mineralien, die in natürlichen Gewässern vorkommen können.

Treten Mineralien in unnatürlicher Menge in einem Gewässer auf, ist bedeutet dies zunächst verbesserte Umstände für die im betroffenen Biotop vorhanden Produzenten,

¹² Dieses Kapitel sowie das eingefügte Diagramm (in modifizierter Form) entspringen größten Teils den Erkenntnissen aus dem Biologie – Unterricht der Jahrgangsstufe Q1.

also Wasserpflanzen. Dies bedeutet eine Vermehrte Produktion von Sauerstoff, was wiederum für bessere Lebensumstände der Konsumenten sorgt. Bei starker Sauerstoffzunahme kann jedoch auch der Tod einiger Konsumenten durch Embolie eintreten. Diese ggf. durch Sauerstoffüberschuss verendeten Konsumenten sowie auch die auf andere Weise abgestorbenen in größerer Anzahl vorhandenen Konsumenten und Produzenten enden schließlich als totes organisches Material im Gewässer. Dieses organische Material wird von Destruenten unter Sauerstoffverbrauch zersetzt. Da mehr organisches Material als üblich vorhanden ist, wird dementsprechend mehr Sauerstoff beim Abbau verbraucht. Bei einem hohen Grad der Verschmutzung durch Mineralien kann es zu einer so hohen Sauerstoffzehrung kommen, dass die Konsumenten an Sauerstoffmangel sterben. In Extremfällen über einen längeren Zeitraum kann dies letztlich zur ökologischen Zerstörung des Gewässers führen.

Man bezeichnet den Grad der Verunreinigung durch Mineralien als *Trophie*. Man unterscheidet im Allgemeinen vier Trophiestufen, nämlich *oligotroph* (nährstoffarm), *mesotroph* (mittleres Nährstoffangebot), *eutroph* (nährstoffreich) und *hypertroph* (sehr nährstoffreich).¹³ Es gilt: Je weniger Nährstoffe enthalten sind, desto gesünder ist das Gewässer.

Da es sich dabei jedoch um ein wichtiges Pflanzenmineral handelt, sollte eine gewisse Menge durchaus im Gewässer vorhanden sein, um die Sauerstoffproduktion zu gewährleisten. Außerdem ist die notwendige oder tolerierbare Menge bei verschiedenen Mineralien variabel.

4.3.2. Photometrische Bestimmung des Phosphatgehaltes

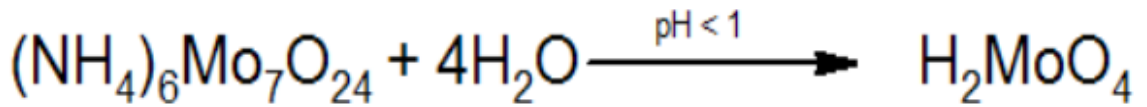
Für eine Photometrische Bestimmung des Phosphatgehaltes in dem zu untersuchenden Gewässer ist zunächst Orthophosphat¹⁴ zu einem Farbstoff umzusetzen.

Es handelt sich bei dem nachfolgenden Vorgehen um ein Beispiel. Da es für das Photometer bestimmte Reagenziensätze gibt, welche nicht preisgeben, um welche Substanzen es sich handelt, kann man die konkreten Abläufe nicht genau bestimmen. Da aber die Beschreibungen der Methode mit den tatsächlichen Beobachtungen übereinstimmen und es sich um bekannte Verfahren handelt, ist es nicht unwahrscheinlich, dass es sich dabei um die tatsächlich abgelaufene Reaktion handelt.

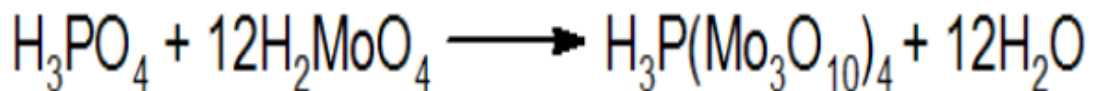
¹³ Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Trophiesystem>

¹⁴ Form des Phosphats, als welche Phosphat in natürlichen Gewässern i.d.R. In höchster Konzentration vorliegt

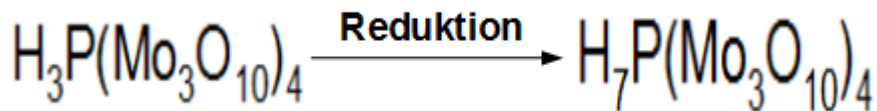
Zunächst reagiert Ammoniumheptamolybdat in saurem Milieu mit Wasser zu farbloser Isomolybdänsäure:



Die Isomolybdänsäure reagiert im zweiten Schritt mit dem Orthophosphat unter Wasserabspaltung zu Phosphormolybdänsäure:



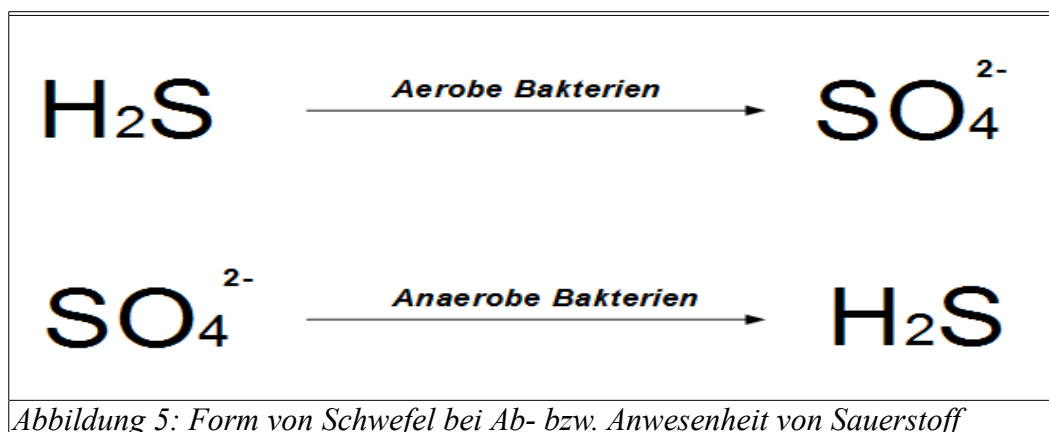
Phosphormolybdänsäure reagiert abschließend mit einem geeigneten Reduktionsmittel zu dem blauen Farbstoff Phosphormolybdänblau, welcher photometrisch erfasst werden kann:



Man misst einen Phosphatgehalt von 0,9 mg/L.¹⁵

4.4. Sulfatgehalt

4.4.1. Bedeutung des Sulfatgehaltes



¹⁵ Da dies ein eher geringer Anteil ist, kann man im Hinblick auf die vorher erörterten Bedeutung des Phosphats vermuten, dass der Sauerstoffgehalt in Ordnung sein muss.

Im Folgenden soll auf die Bedeutung von Schwefelverbindungen in natürlichen Gewässern eingegangen werden. Dabei werden lediglich Sulfate und Schwefelwasserstoff betrachtet, da diese die Verbindungen sind, die in Gewässern hauptsächlich vorhanden sind. Andere Schwefelverbindungen können daher vernachlässigt bleiben.

Bei der Abbildung (Abb. 5, S.11) handelt es sich um einen kleinen Ausschnitt aus dem Schwefelkreislauf. Sie zeigt, dass Schwefelwasserstoff bei Sauerstoffanwesenheit von aeroben Bakterien zu Sulfationen umgesetzt wird und Sulfationen wiederum bei Sauerstoffabwesenheit zu Schwefelwasserstoff. Schwefelwasserstoff und Sauerstoff schließen sich also gegenseitig so gut wie aus.¹⁶

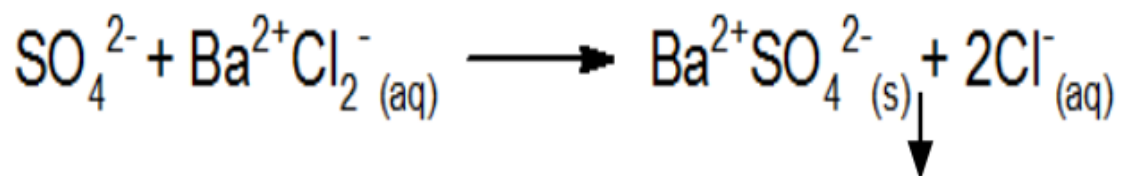
Schwefelwasserstoff ist ein hochgiftiger Stoff, welcher an seinem unangenehmen Geruch zu erkennen ist. So ist schon vor einer genauen Analyse festzustellen, ob eine Schwefelwasserstoffbelastung vorliegt.

Sulfat hingegen ist in angemessenen Mengen nicht schädlich und dient als Pflanzennährstoff. Es ist für ein natürliches Gewässer also erstrebenswert einen gewissen Sulfatgehalt aufweisen zu können. Ein natürliches Gewässer enthält in der Regel bis zu 50 mg Sulfat pro Liter.

4.4.2. Photometrische Bestimmung des Sulfatgehaltes¹⁷

Die photometrische Bestimmung des Sulfatgehaltes erfolgt über die Fällung von Bariumsulfat.

Zur gefilterten Probe wird Bariumchlorid gegeben. Wasserunlösliches Bariumsulfat fällt daraufhin als Feststoff aus, welcher Licht absorbiert, sodass auf diese Weise der Sulfatgehalt Photometrisch ermittelt werden kann.



¹⁶ Obwohl der Gehalt an Schwefelwasserstoff nicht untersucht wurde, ist davon auszugehen, dass dieser verschwindend klein ist, da es zum einen keine äußeren Anzeichen (z.B. Geruch) dafür gab, und zum anderen da der Sulfatgehalt etwa dem eines gesunden Gewässers entspricht (Sogar etwas erhöht ist). Auch dies ist ein Anzeichen für eine gute Sauerstoffsättigung.

¹⁷ http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/6/ac/versuche/anionen/_vlu/sulfat.vlu/Page/vsc/de/ch/6/ac/versuche/anionen/sulfat/nachweis.vscml.html

Man erhält ein Ergebnis von 57 mg/L.

4.5. Gehalt an gelösten Stickstoffverbindungen

4.5.1. Bedeutung des Stickstoffes

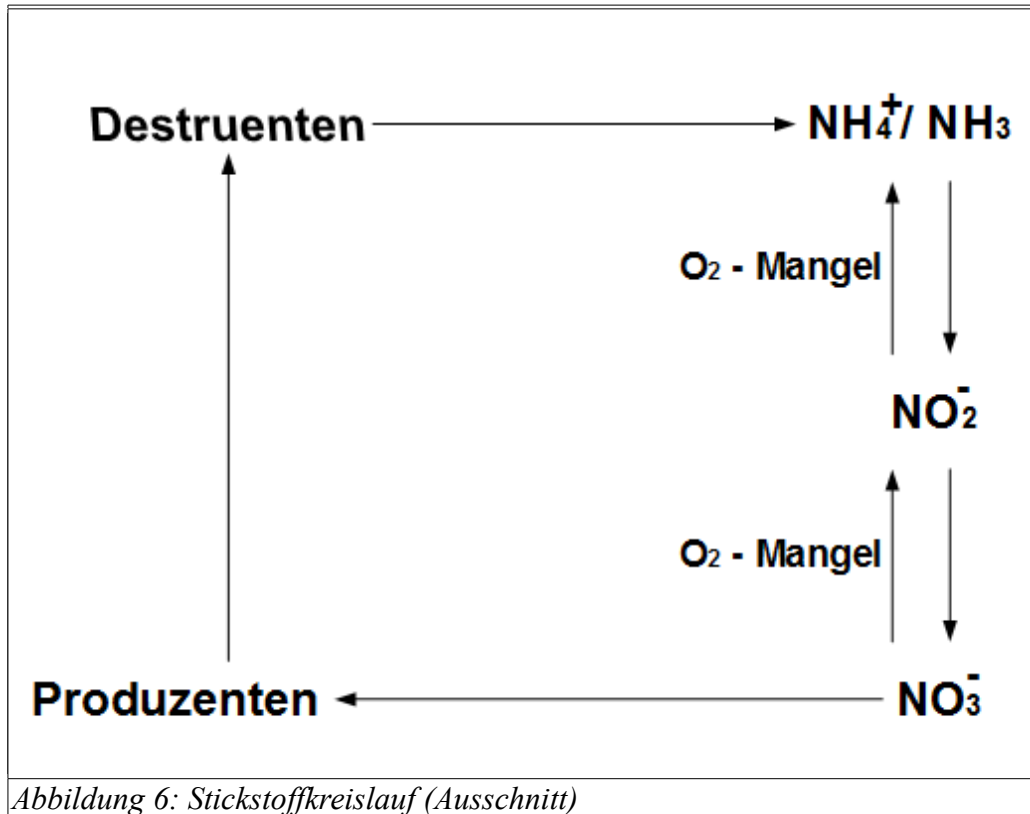


Abbildung 6: Stickstoffkreislauf (Ausschnitt)

Die Abbildung beschränkt sich auf die drei Stickstoffverbindungen, die für die durchgeführte Wasseranalyse relevant sind, namentlich Ammonium, Nitrit und Nitrat.

Organisches Material (z.B. abgestorbene Produzenten) werden von Destruenten zersetzt, wobei die im zersetzten Material vorhandenen anorganischen Stoffe zu Mineralien umgesetzt werden, in diesem Fall zu Ammoniumionen oder Ammoniak. Dies ist vom pH – Wert abhängig, in alkalischem Milieu liegt überwiegend Ammoniak vor, in saurem Milieu Ammonium.

Die jeweilige Form wird bei Anwesenheit von Sauerstoff von aeroben Bakterien zu Nitrit umgewandelt, welches schließlich von aeroben Bakterien zu Nitrat umgesetzt wird.

Sowohl Ammonium (bzw. Ammoniak) als auch im Besonderen Nitrit sind für die meisten im Biotop lebenden Organismen teilweise schon in geringen Mengen toxisch. Nitrat ist hingegen ähnlich wie Sulfat ein wichtiger Pflanzennährstoff (s. Abb. 6) und

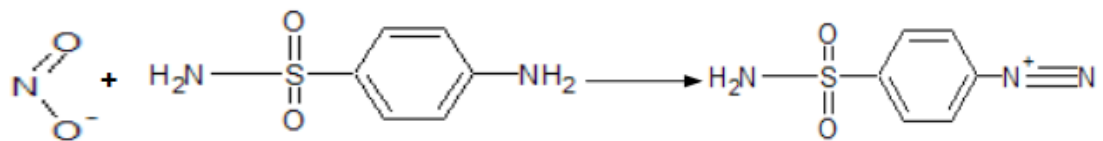
nicht für andere Organismen schädlich.

Ist der Sauerstoffgehalt im Wasser gering, findet diese Kette rückläufig statt. Man erkennt deutliche Parallelen zu dem betrachteten Teil des Schwefelkreislaufs. Auch hier ist ein hoher Sauerstoffgehalt positiv, damit die höchstoxidierte Form des Stickstoffes, die unschädliche und zugleich nützliche Form, in höchster Konzentration vorliegt.

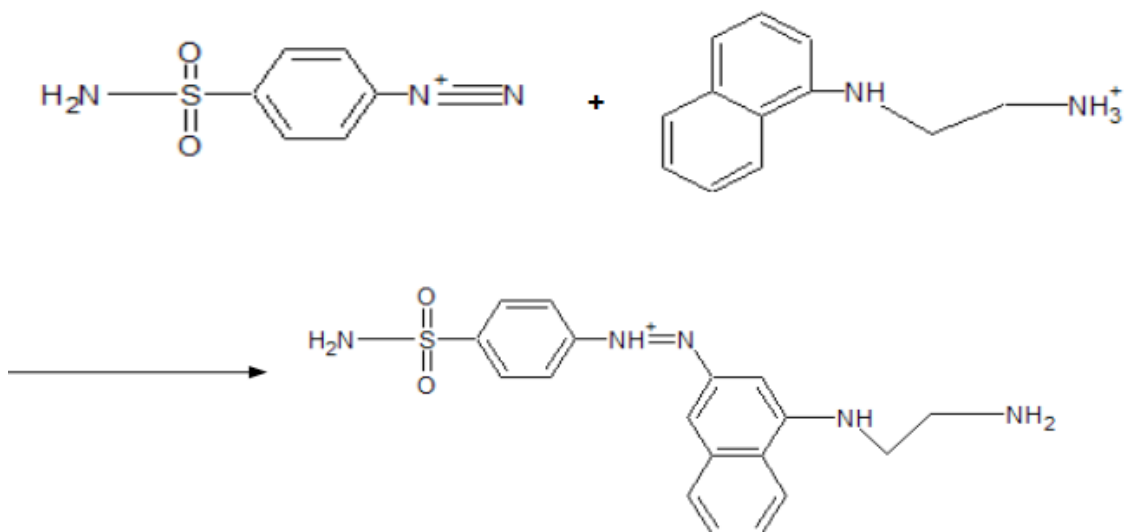
4.5.2. Photometrische Bestimmung des Nitritgehaltes

Bei der photometrischen Bestimmung des Nitritgehaltes wird mit dem enthaltenen Nitrit ein Azofarbstoff synthetisiert. Die nachfolgende Farbstoffsynthese ist beispielhaft aufgeführt, man kann zu diesem Zwecke theoretisch jeden Azofarbstoff herstellen.

Als erstes wird das Diazoniumion hergestellt. Sulfanilamid dient in diesem Fall als Diazoniumkomponente:



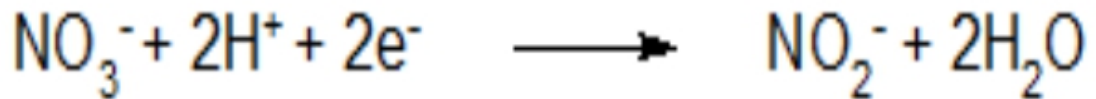
Es folgt die Kupplung mit einem aromatischen System als Kupplungskomponente. Man erhält schließlich einen intensiv rot gefärbten Azofarbstoff, der für die photometrische Bestimmung geeignet ist:



So wurde ein Nitritgehalt von 0,82 mg/L gemessen werden.

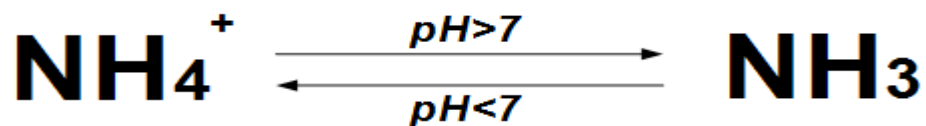
4.5.3. Photometrische Bestimmung des Nitratgehaltes

Der Nitratgehalt kann bestimmt werden, indem man das gelöste Nitrat mit Hilfe eines geeigneten Reduktionsmittels zu Nitrit reduziert:



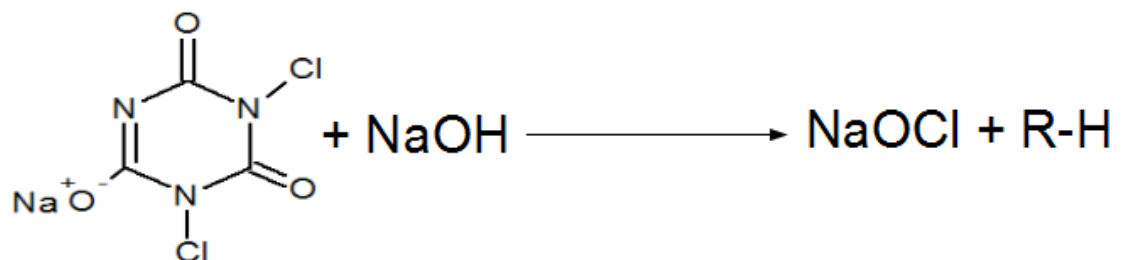
Es folgt das selbe Verfahren, welches bei der Nitritgehaltbestimmung angewandt wurde. Für das untersuchte Fließgewässer ergibt sich daraus ein Nitratgehalt von 20,19 mg/L.¹⁸

4.5.4. Photometrische Bestimmung des Ammoniumgehaltes¹⁹



Diese Form des Stickstoffes liegt in saurem Milieu als Ammonium vor und in alkalischem Milieu als Ammoniak. Bei dem gemessenen pH – Wert von 7,1 liegen die beiden Formen demnach ungefähr in gleicher Menge vor. Da der im Folgenden beschriebene Reaktionsmechanismus in alkalischer Lösung stattfindet, ist ausschließlich Ammoniak vorhanden.

Zunächst reagiert Natriumdichlorcyanurat in alkalischer Lösung zu Natriumhypochlorit:



Das Natriumhypochlorit reagiert daraufhin mit dem Ammoniak zu Chloramin und

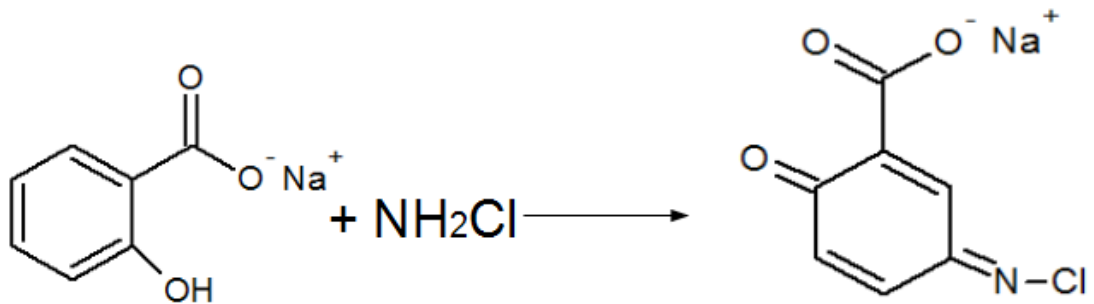
¹⁸ Die höchstoxidierte Form des Stickstoffes liegt in der höchsten Konzentration vor, was ein weiterer Hinweis darauf ist, dass eine normale Sauerstoffsättigung vorliegt.

¹⁹ Vgl. http://amor.cms.hu-berlin.de/~genslerm/files/anIII_praktikum/FIA_Am2005.pdf

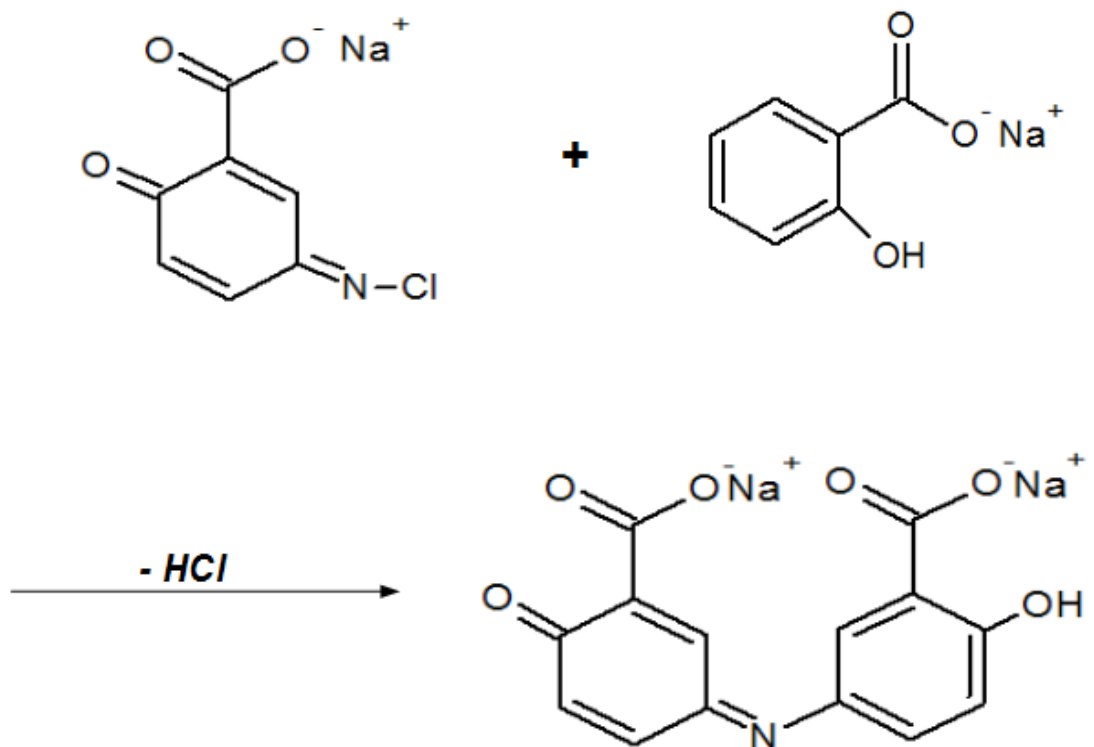
Natronlauge:



Mit Natriumsalicylat reagiert das Chloramin zu N-Chlorchinonimin:



Das N-Chlorchinonimin reagiert zum Schluss mit weiterem Natriumsalicylat unter Abspaltung von Salzsäure zu einem blaugrünen Indophenolähnlichen Farbstoff:



Nach photometrischer Messung erhält man einen Wert, der geringer als 0.05 mg/L liegt, sodass dieser nicht mehr genau bestimmt werden kann.

6. Résumé in besonderem Hinblick auf die Sauerstofffrage

Nach Erörterung der Ergebnisse wird klar, dass der gemessene Sauerstoffgehalt von 1,448 mg/L nicht der Wirklichkeit entsprechen kann.

Bei allen untersuchten Stoffen spielt der Sauerstoff bzw. aerobe und anaerobe Bakterien eine überaus relevante Rolle. Man erkennt beispiellos wie die einzelnen Systeme und Stoffkreisläufe innerhalb des Ökosystems des Fließgewässers²⁰ ineinander greifen und nicht vollständig separat voneinander betrachtet werden können.

Vor diesem Hintergrund ist es möglich eine Voraussage über den Sauerstoffgehalt und die Sauerstoffsättigung zu treffen, obwohl die Untersuchung in diesem Fall eindeutig in eine falsche Richtung lenkt. Da es viele Anzeichen für eine hohe Gewässergüte gibt und es insbesondere auch diverse Hinweise auf eine gute Sauerstoffversorgung gibt, kann man eine Sauerstoffsättigung von etwa 90% und höher schätzen.

Dies ist natürlich sehr ungenau und kann ebenso in die Irre leiten. Außerdem wurde nur ein kleiner Teil der möglichen Analyseparameter betrachtet. Trotz alledem ist diese Einschätzung sehr viel realistischer als die Ermittelten Werte.

7. Beurteilung des Gewässers und Beantwortung der Leitfrage

Parameter	Richtwert	Ergebnisse
pH – Wert	6,5 – 9,5 ²¹	7,1
Sauerstoffsättigung	100% = 11,76 mg/L ²²	1,448 mg/L = 12,3%
Phosphatgehalt	Max. 6,95 mg/L ²³	0,9 mg/L
Sulfatgehalt	Max. 250 mg/L	57 mg/L
Nitritgehalt	Max. 0,5 mg/L	0,82 mg/L
Nitratgehalt	Max. 50 mg/L	20,19 mg/L
Ammoniumgehalt	Max. 0,5 mg/L	< 0,5 mg/L

20 Und auch Stehgewässers

21 Vgl. Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Künftig zitiert: TrinkwV 2001)

22 Vgl. Abb. 3

23 Vgl. TrinkwV 2001 (ebenfalls geltend für alle weiteren in der Tabelle aufgeführten Richtwerte)

Die Richtwerte stammen alle mit Ausnahme des Wertes für Sauerstoff aus der Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch des Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz von 2001. Obwohl es sich bei dem Mühlenbach nicht um ein Gewässer zur Trinkwasserversorgung handelt, sind die Richtwerte der Verordnung dennoch für die Beurteilung geeignet, da die Werte mit den Werten aus anderen Richtlinien ohne größere Abweichungen übereinstimmen. Ansonsten ist eine rein ökologische Beurteilung schwierig, wenn man wie hier vorgenommen nur einen kleinen Teilausschnitt der Analyse betrachtet.

Wie man in der Tabelle noch einmal im Überblick erkennt, sind beinahe alle Ergebnisse weit unter der Maximalgrenze. Ausgenommen ist davon lediglich der Nitritgehalt, bei dem man eine leichte Erhöhung feststellen kann. Auf den Sauerstoffgehalt muss in diesem Zusammenhang nicht weiter eingegangen werden.

Der Mühlenbach steht unter Naturschutz und bei der Analyse wird dies auch klar. In dem zu beurteilenden Rahmen findet man ein nahezu vorbildliches Gewässer vor. Mit Blick auf die Trinkwasserverordnung böte es sich auch nach Reinigung sogar zum menschlichen Verzehr an, zumindest soweit man dies auf der vorhandenen Grundlage beurteilen kann.

Doch das Wasser ist nicht klar. Es weist eine gewisse Trübung auf, die viele Menschen wahrscheinlich davon abschrecken würden, dem Bach zu nahe zu kommen. Insofern kann man eines deutlich festhalten:

Das untersuchte Fließgewässer ist in der Tat schmutzig, doch mit Sicherheit nicht verschmutzt.

Literaturverzeichnis

1. <http://de.wikipedia.org> (Fußnoten: 4, 7, 10, 13)
2. http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/6/ac/versuche/anionen/_vlu/sulfat.vlu/Page/vsc/de/ch/6/ac/versuche/anionen/sulfat/nachweis.vscml.html (Fußnote: 17)
3. Otto, Matthias: Analytische Chemie, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 3. Auflage 2006 (Fußnote: 6)
4. http://amor.cms.hu-berlin.de/~genslerm/files/anIII_praktikum/FIA_Am2005.pdf (Fußnote: 19)
5. Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch des Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2001 (Fußnoten: 21, 23)
Link: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/trinkwv_2001/gesamt.pdf

Grafikverzeichnis

Abb. 1 : Arbeitsweise eines Photometers

Quelle:

https://www.uni-hohenheim.de/lehre370/weinbau/bild_htm/messen/photo2.htm

Abb. 2 : allgemeine Versuchsanordnung bei Titration

Quelle:

<http://www.chemienet.info/7-titr.html>

Abb. 3 : Sauerstofflöslichkeit in Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur

Quelle

<http://www.chemie-master.de/FrameHandler.php?loc=http://www.chemie-master.de/pse/pse.php?modul=tab13>

Alle weiteren Abbildungen wurden von der Verfasserin dieser Arbeit unter Einbeziehung von Erkenntnissen aus dem Schulunterricht selbst erstellt.

