

hochschule mannheim

**Institut für
Energie- und Umwelttechnik**



Praktikum zur Vorlesung Umweltüberwachung (UMU)

**Praktikumsversuch: Wasser I – Analyse von Grund- und
Summenparametern, Beurteilung der Wasserqualität**

Inhaltsverzeichnis:

0. Allgemeines	3
Aufgabenstellung:	3
Zielsetzung:	3
Vorbereitung:	3
1. Versuchsablauf	4
1.1 Probenahme	4
1.2 Messung der Parameter im Umweltlabor	4
1.3 Beurteilung der Parameter	4
2. Theoretische Grundlagen	5
2.1 pH-Wert	5
2.2 Redoxspannung	7
2.3 Elektrische Leitfähigkeit	8
2.4 Sauerstoffgehalt	10
2.5 Der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB)	13
2.6 chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	16
2.7 TOC (total organic carbon)	19
2.8 Trübung	22
2.9 spektraler Absorptionskoeffizient (SAK)	24
3. Versuchsdurchführung	27
3.1 Messung des pH-Wertes	27
3.2 Messung von Redoxspannung,	28
elektrischer Leitfähigkeit und	28
Sauerstoffgehalt	28
3.3 Messung des CSB	29
3.4 Messung des TOC	29
3.5 Trübungsmessung	29
3.6 Messung des SAK	30
4. Quellen	31

0. Allgemeines

Aufgabenstellung:

Erstellen einer Versuchsauswertung im Labor mit folgenden Inhalten:

- Auflistung der gemessenen Parameter
- Angaben zur Probenahme des untersuchten Wassers
- eine Aussage über die Wasserqualität im Vergleich zu den Grenzwerten mit der Trinkwasserverordnung
- ein Vergleich mit dem Leitungswasser der Hochschule
- Diskussion

Zielsetzung:

Beurteilung der Qualität der mitgebrachten Wasserprobe mit Hilfe von Grund- und Summenparametern. Abschätzen des Grades der Belastung der Wasserprobe.

Bestimmung von:

- pH-Wert
- Redoxspannung
- elektrische Leitfähigkeit
- Sauerstoffgehalt
- CSB
- TOC
- Trübung
- spektraler Absorptionskoeffizient (SAK)

Das Ziel der Versuche Wasser 1 + 2 ist das praktische kennen lernen von instrumentellen Messverfahren bei der Überwachung von Oberflächengewässern und Abwässern.

Vorbereitung:

Theoretische Vorbereitung auf den Praktikumsversuch (Abfrage der theoretischen Grundlagen siehe auch Literaturangabe letzte Seite)

Mitbringen einer Wasserprobe (ca. 1,5 l)

z.B. Wasserprobe aus Gartenteich, See, Fluss, Aquarium oder auch Leitungswasser.

Protokoll ausfüllen

Die Bestimmung des BSB5 wird in der Vorlesung besprochen und aktuelle Werte werden beurteilt. Die Messung dauert 5 Tage, was den Rahmen des Praktikums überschreiten würde.

1. Versuchsablauf

1.1 Probenahme

Das Volumen der Wasserprobe sollte mindestens 1,5 l betragen (große PET-Flaschen eignen sich ganz gut).

Die Flasche ist vor der eigentlichen Probenahme mit dem Probenwasser zu spülen. Weiterhin sollte die Flasche randvoll gefüllt werden, so dass sich keine Luft mehr in der Flasche befindet. Die Flasche soll dicht verschlossen sein.

Die Wasserprobe ist unbedingt zum Versuch mitzubringen.

Die Probenahme hat selbstverständlich repräsentativ zu erfolgen, die Probenahme stelle sollte also sorgfältig ausgewählt werden.

Bei den Probenahmen sollte folgendes notiert werden:

- Art des Wassers
- Ort der Probenahme
- Datum, Uhrzeit
- Temperatur (wenn möglich: Wasser + Luft)
- Witterung
- Beschreibung der Probenahme
- Besonderheiten
- Probennehmer

Diese Daten sind für eine spätere Beurteilung wichtig, da z.B. der Sauerstoffgehalt eines Wassers stark von Tageszeit und Temperatur abhängig ist
Messung der Parameter im Umweltlabor

1.2 Messung der Parameter im Umweltlabor

Siehe unter 3. Versuchsdurchführung

1.3 Beurteilung der Parameter

Diskussion der verschiedenen Parameter

2. Theoretische Grundlagen

Definition der Grund- und Summenparameter Bedeutung und Messverfahren der Parameter

In diesem Kapitel werden die gemessenen Grund- und Summenparameter zunächst mit Definition und Bedeutung vorgestellt, anschließend werden mögliche Messverfahren für den jeweiligen Parameter vorgestellt.

2.1 pH-Wert

2.1.1 Definition

Der pH-Wert ist ein Maß für die Stärke der sauren bzw. basischen Wirkung einer Lösung. Der Begriff leitet sich vom lateinischen pondus Hydrogenii oder potentia Hydrogenii her

(pondus = Gewicht; potentia = Kraft; hydrogenium = Wasserstoff).

Der pH-Wert entspricht dem negativen dekadischen Logarithmus der H_3O^+ -Ionenkonzentration c bzw. deren Aktivität a . Ein Gleichgewicht besteht bei einem pH-Wert von 7, ein kleinerer Wert steht für eine Säure und entsprechend ein höherer für eine Base.

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

2.1.2 Bedeutung

Der pH-Wert ist eine der wichtigsten Messgrößen der Wasseranalytik, da er großen Einfluss auf die chemischen und biologischen Vorgänge in Gewässern hat. Beispielsweise entscheidet der pH-Wert, ob gebundene Kohlensäure überwiegend als Carbonat oder Hydrogencarbonat, ob Gesamtammonium als Ammoniak oder Ammonium-Ion, ob Gesamtphosphat als Phosphorsäure oder Hydrogenphosphat-Ion vorliegt und in welchen Konzentrationen Aluminium, Eisen und Schwermetalle im Wasser vorliegen. Diese Ionen haben wiederum Einfluss auf das mikrobiologische, pflanzliche tierische Leben im Wasser.

Lebewesen tolerieren in der Regel nur Lebensbedingungen in engen pH-Wert-Grenzen (in der Regel zwischen 5 und 9). Entsprechend muss Abwasser, das in die Kanalisation oder in Vorfluter eingeleitet werden soll, bestimmte pH-Wert Grenzwerte einhalten.

Die biologische Abwasserreinigung mittels Mikroorganismen muss zumeist im Bereich pH 6-8 erfolgen, da außerhalb diesen Toleranzbereichs die meisten Mikroorganismen geschädigt werden oder nicht aktiv sind. Daher wird vor die biologische Stufe bei entsprechenden Abwasserreinigungsanlagen eine pH-Wert-Regulierung bzw. Neutralisation vorgeschaltet.

Da viele Abbauprozesse selbst eine Wirkung auf den pH-Wert haben, ist eine geeignete Regulierung bei wechselnden Zusammensetzungen des Abwassers eine komplexe Problematik. Für einige Abbauprozesse gibt es einen optimalen pH-Wert bzw. pH-Wert-Bereich der vom Neutralen abweichen kann.

Des Weiteren ist der pH-Wert eine wichtige Messgröße bei der korrosionschemischen Beurteilung von Wässern und Abwässern an Baustoffen.

pH-Wert anhand einiger Beispiele:

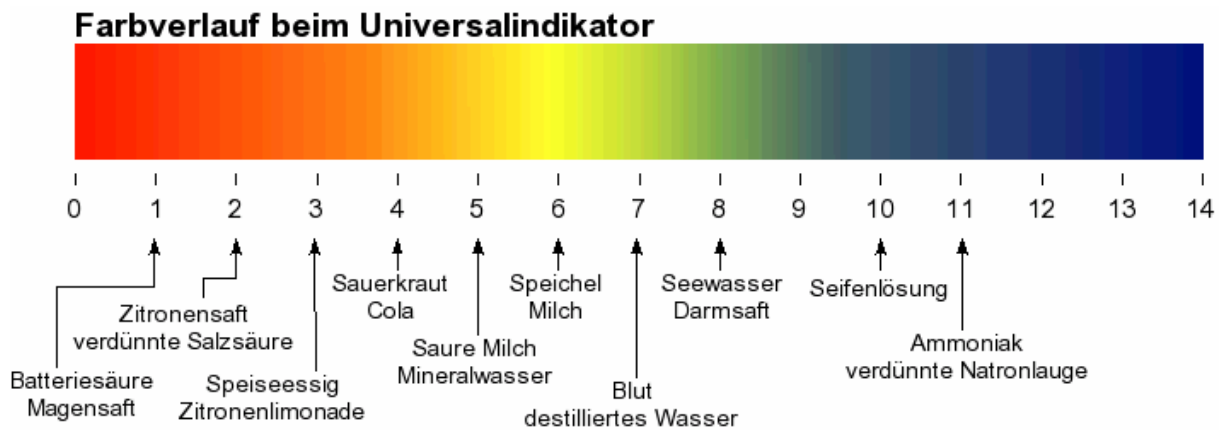


Abb. 1: [Quelle: www.wikipedia.org]

Flüssigkeit	pH-Wert
Regen (Bundesdurchschnitt)	4,1
Erliegen biologischer Reinigung stark Beton schädigend	< 5,5
Biologische Reinigung geht zurück chemisch reines Wasser	< 6 und > 8
Trinkwasser	6,5 bis 8,5
Wasser in Flüssen und Bächen	6,7 bis 8,0
Meerwasser	7,8 bis 8,2

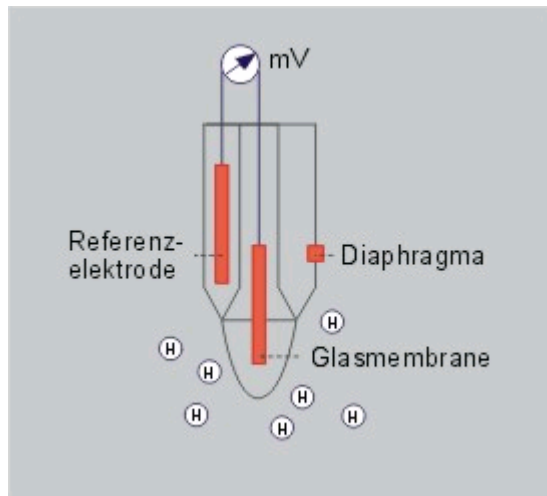
2.1.3 Messverfahren

2.1.3.1 Kolorimetrische Bestimmung

Um den pH-Wert kolorimetrisch zu bestimmen kann man verschiedene Indikatoren verwenden, die ihre Eigenfarbe durch Anlagerung eines Protons bzw. eines Hydroxidions ändern. Anhand der Farbe der Probe kann man den pH-Wert dann bestimmen, allerdings ist der Farbumschlag des Indikators auf einen bestimmten pH-Bereich begrenzt. Um einen möglichst genauen Wert zu erhalten wird die Färbung der Probe dann über ein Photometer bestimmt.

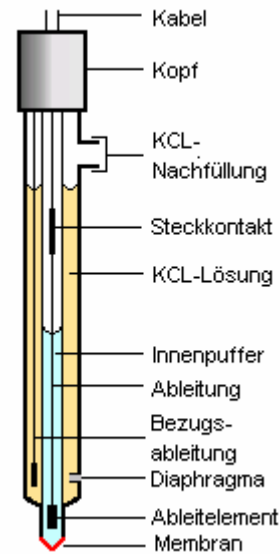
2.1.3.2 Elektrometrische Bestimmung

Bei der elektrometrischen Bestimmung wird eine Potentialdifferenz zwischen einer Bezugsselektrode mit bekannter Aktivität und einer Messelektrode gemessen. Die Messelektrode ist eine Glaselektrode, die mit einer Elektrolyt-Flüssigkeit bekannten pH-Werts gefüllt ist. An der Spitze ist meist eine Kappe mit H^+ -Ionen sensitivem Spezialglas angeschmolzen, an dem sich innen wie außen ein Grenzflächenpotential aufbaut, mit dessen Potentialdifferenz bei bekanntem pH-Wert der Elektrolytflüssigkeit nach der Nernst'schen Gleichung der pH-Wert der Wasserprobe bestimmt werden kann.



Messprinzip

Quelle: www.buerkert.de



Einstabmesskette

Quelle: www.bingo-ev.de

2.2 Redoxspannung

2.2.1 Definition

Die Redoxspannung sagt aus, wie stark reduzierend bzw. oxidierend eine Messlösung ist. Ein negativer Spannungswert entspricht dabei einer reduzierenden Wirkung, ein positiver Spannungswert entsprechend einer oxidierenden Wirkung.

Die Redoxspannung hat die Einheit V bzw. mV und ist vom pH-Wert (nicht alle Redox-Reaktionen), von der Temperatur und vom Sauerstoffgehalt abhängig.

2.2.2 Bedeutung

Die Redoxspannung liefert eine Aussage über die Redox-Reaktionen einer Messlösung. Diese Redox-Reaktionen sind Elektronen-Übertragungs-Reaktionen im Gegensatz zu den Säure-Basen-Reaktionen, welche Protonen-Übertragungs-Reaktionen sind. Die Redoxspannung ist entscheidend dafür ob z.B. Eisen 2- oder 3-wertig vorliegt. Unter der Annahme, dass in einer Lösung ausschließlich das Eisen die Redoxspannung bestimmen würde, könnte man das Verhältnis, in dem die beiden Oxidationsstufen vorliegen bestimmen. In der Praxis setzt sich die Redoxspannung aber aus einer Vielzahl von Redox-Reaktionen zusammen.

Der Bakterienstoffwechsel hat ebenfalls einen großen Einfluss auf die Redoxspannung, so sinkt die Redoxspannung z.B. beim Umkippen eines Gewässers extrem ab.

Abwasserinhaltsstoffe können reduzierend oder oxidierend wirken. Reduzierende Stoffe beispielsweise reagieren stark mit Sauerstoff, was zu einer Sauerstoffzehrung führt, oxidierende Stoffe wirken häufig desinfizierend und beeinflussen so möglicherweise Mikroorganismen in Kläranlage oder Vorfluter.

Redoxspannungsmesswerte dienen hauptsächlich der Plausibilitätsprüfung weiterer Mess-daten oder als Mess- und Regelparameter im Schwimmbadbereich. Da redox-aktive Stoffe sowohl mit Luftsauerstoff als auch mit organischen Inhaltstoffen

reagieren können, ändert sich das Redoxpotential in Wasserproben in den meisten Fällen während des Transports ins Labor. Entsprechend muss eine aussagefähige Redoxpotentialmessung am Probenahmeort durchgeführt werden.

Eine hohe Redoxspannung bedeutet, dass das Reinwasser fast keine reduzierenden und/oder bioverfügbaren Substanzen mehr enthält. Beispielsweise ist Wasser bei einer Redoxspannung von 740 mV und einem Chlorgehalt von 0,1 mg/l als ausreichend desinfiziert zu betrachten, bei einer Redoxspannung von 600 mV und einem Chlorgehalt von 0,6 mg/l jedoch nicht. Bei geeigneter Anlagenkonfiguration, lässt sich die Redoxspannung zur Prozessführung einer Wasseraufbereitungsanlage heranziehen.

Belüftetes Grundwasser ~ 200 – 300 mV
Aufbereitetes Wasser ~ 700 – 900 mV

2.2.3 Messverfahren

Die Messung der Redoxspannung erfolgt mit einer Elektrode (Gold oder Platin) gegenüber einer Referenzelektrode (i.d.R. Ag/AgCl in 3 mol/l KCl). Die Spannung die sich dabei einstellt (U_G) wird gemessen und in die Redoxspannung gegen die Wasserstoffelektrode (U_H) umgerechnet.

$$U_H = U_G + U_B$$

wobei die Korrekturgröße U_B je nach Temperatur und Referenzelektrode Werte zwischen 171mV und 260mV annehmen kann.

2.3 Elektrische Leitfähigkeit

2.3.1 Definition

Die elektrische Leitfähigkeit gibt die Fähigkeit des Wassers an, Strom zu leiten und ist der Kehrwert des spezifischen elektrischen Widerstandes.

Die Stromleitung geschieht zum einen über im Wasser gelöste Ionen, zum anderen auch über die Eigendissoziation des Wassers. Da destilliertes Wasser eine feste und bekannte Leitfähigkeit hat, kann man durch diesen Summenparameter auf Ionen im Wasser rückschließen, die die Leitfähigkeit erhöhen.

Die Einheit der elektrischen Leitfähigkeit ist S/m bzw. $\mu\text{S}/\text{cm}$ und ist abhängig von der Konzentration, dem Dissoziationsgrad, der Wertigkeit der Ionen und der Temperatur.

2.3.2 Bedeutung

Die elektrische Leitfähigkeit liefert gerade bei kleineren Gewässern erste Anhaltspunkte über die Einträge von Niederschlagswasser, Abwasser und die dadurch ausgelösten Veränderungen der Wasserbeschaffenheit. Große Schwankungen sind meist auf diskontinuierliche Einträge über Regenwassersiele zurückzuführen. Hohe Leitfähigkeitswerte können z.B. auf Abschwemmungen von befestigten Betriebs- und Hofflächen nach Niederschlägen im Einzugsgebiet und Spitzenwerte im Winter auf den Einsatz von Streusalz im Winterdienst zurückgeführt werden.

Mit Hilfe der elektrischen Leitfähigkeit kann relativ schnell eine Aussage über den Gesamtgehalt an gelösten Salzen in einem Gewässer abgeschätzt werden. Die Salze können natürlichen Ursprungs sein (z.B. Verwitterung von Gesteinen) oder aber menschlicher Herkunft (z.B. Streusalz, Industrieabwässer). In Flüssen treten vor allem folgende Salze auf: Die Salze von Natrium, Kalzium, Magnesium, Kalium sowie Chlorid, Sulfat, Hydrogenkarbonat, Karbonat und Nitrat.

Einige Beispiele zur elektrischen Leitfähigkeit:

Beispiel	Wert
destilliertes Wasser	1 $\mu\text{S/cm}$
Umkehrosmosewasser	20 $\mu\text{S/cm}$
Regenwasser Industriegebiete	60 $\mu\text{S/cm}$
Regenwasser ländliche Gebiete	30 $\mu\text{S/cm}$
Trinkwasser Durchschnittswerte	100 – 1.000 $\mu\text{S/cm}$
Trinkwasser Grenzwert	2.000 $\mu\text{S/cm}$
Meerwasser	42.000 $\mu\text{S/cm}$

Tab. 2 [Quelle: www.dennerle.de/BPLeitfaehigkeit.htm]

Leitfähigkeit von Seewasser bei 25°C :

Salinität (Promille)	Dichte (g/cm ³)	Leitfähigkeit (mS/cm)
0	0,997	0,0
1	0,998	1,5
2	0,999	1,5
5	1,002	7,7
10	1,0046	15,4
15	1,0084	23,1
20	1,0121	30,8
25	1,0159	38,5
30	1,0196	46,2
35	1,0234	53,8
40	1,0271	61,5

Tab. 3 [Quelle: D'Ans/Lax: Taschenbuch für Chemiker und Physiker. Ott: Meereskunde]

Leitfähigkeit eines Leitungswassers, berechnet aus den Bestandteilen:

Bestandteil	Konz.	Konz. (mmol/l)	Leitf. ($\mu\text{S/cm}$)	Anteil %
Calcium	7,1°dH	2,54	132,1	41,6
Magnesium	0,6°dH	0,22	10,3	3,3
Natrium	9,6 mg/l	0,42	20,5	6,5
Kalium	0,8 mg/l	0,02	1,4	0,4
Hydrogencarbonat	6,4°dH	2,29	99,8	31,4
Chlorid	17 mg/l	0,5	38,0	12,0
Sulfat	19 mg/l	0,20	14,8	4,7
Nitrat	0,8 mg/l	0,013	0,9	0,3
Summe	berechnet		317,8	100,2
	gemessen		330	-

Tab. 4 [Quelle: www.deters-ing.de/Gastbeitraege/Leitf-1.htm]

2.3.3 Messverfahren

Die Messzelle wird aus zwei meist flächigen Elektroden gebildet, die aus Platin, Edelstahl oder anderem elektrisch leitfähigem Material bestehen und einen definierten Abstand haben.

Eine Spannung an den Elektroden erzeugt ein elektrisches Feld und dieses führt zu einer Bewegung der Ionen und damit zu einem Stromfluss. Zur Vermeidung einer Polarisation wird eine Wechselfrequenz an die Elektroden angelegt. Gemessen wird genau genommen der elektrische Widerstand, dessen Kehrwert multipliziert mit der Zellkonstante k (Abstand/Fläche = k) ergibt die elektrische Leitfähigkeit.

2.4 Sauerstoffgehalt

2.4.1 Definition

Der Sauerstoffgehalt im Wasser ist die Konzentration von gelöstem Sauerstoff im Wasser. Die Löslichkeit des Sauerstoffs im Wasser sinkt mit steigender Temperatur sowie mit steigendem Gehalt an gelösten Substanzen (z. B. viskositätserhöhende und oberflächenaktive Stoffe, Salze, andere gelöste Gase).

Ermittlung der Sauerstoffsättigung in Abhängigkeit von der Temperatur bei einem Gesamt-druck der wasserdampfgesättigten Atmosphäre von 760 Torr nach Truesdale, Downing und Lowden - J. Appl. Chem. 5 (1955).

Temperatur [°C]	Sättigungswert [mg/l]	Temperatur [°C]	Sättigungswert [mg/l]
0	14,16	16	9,56
1	13,77	17	9,37
2	13,4	18	9,18
3	13,05	19	9,01
4	12,7	20	8,84
5	12,37	21	8,68
6	12,06	22	8,53
7	11,76	23	8,38
8	11,47	24	8,25
9	11,19	25	8,11
10	10,92	26	7,99
11	10,67	27	7,86
12	10,43	28	7,75
13	10,2	29	7,64
14	9,98	30	7,53
15	9,76	31	7,42

2.4.2 Bedeutung

Die meisten Wasserorganismen benötigen eine Mindestkonzentration von gelöstem Sauerstoff im Wasser zum Leben. Die fischkritische Konzentration wird bei Werten kleiner als $4\text{mgO}_2/\text{l}$ erreicht.

Der Sauerstoffgehalt des Wassers ist das Ergebnis sauerstoffliefernder und sauerstoff-zehrender Vorgänge. So wird der Sauerstoffgehalt durch Photosynthese der Wasserpflanzen und durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft erhöht, und durch den Abbau organischen Materials durch Mikroorganismen durch Afoxidierung von Stoffen wie z.B. Eisen und Mangan sowie durch die Atmung von Tieren und Pflanzen(nachts) gesenkt.

Daraus resultiert in einem natürlichen Gewässer ein Ansteigen und Absinken des Sauerstoffgehaltes in einem Tag-Nacht-Rhythmus, so dass bei einer Probenahme bzw. bei einer Messung die Uhrzeit notiert werden muss.

Im Trinkwasser ist der Sauerstoff in erster Linie für die Schutzschichtbildung an der Innenwand metallischer Rohrleitungen von Bedeutung (günstig sind Sauerstoffgehalte von 6 - 8 mg/l bei Kaltwasser).

Die Messung von gelöstem Sauerstoff findet in der Wasserüberwachung und Abwassertechnik vielfache Anwendung. Sauerstoff ist essentieller Bestandteil für die aeroben Stoffwechselfvorgänge in jedem Gewässer. Wasserverunreinigungen führen häufig zu einer "Sauerstoffzehrung" infolge des biologischen Abbaus der organischen Stoffe. Entsprechend ist der Sauerstoffgehalt eines natürlichen Gewässers ein Kriterium zur Beurteilung der ökologischen Situation und in der Abwassertechnik Messgröße zur Regelung der Behandlungsanlagen.

Beispielwerte des Rheins (Messstelle Düsseldorf) im Jahr 2005 (aus Tagesmittelwerten):

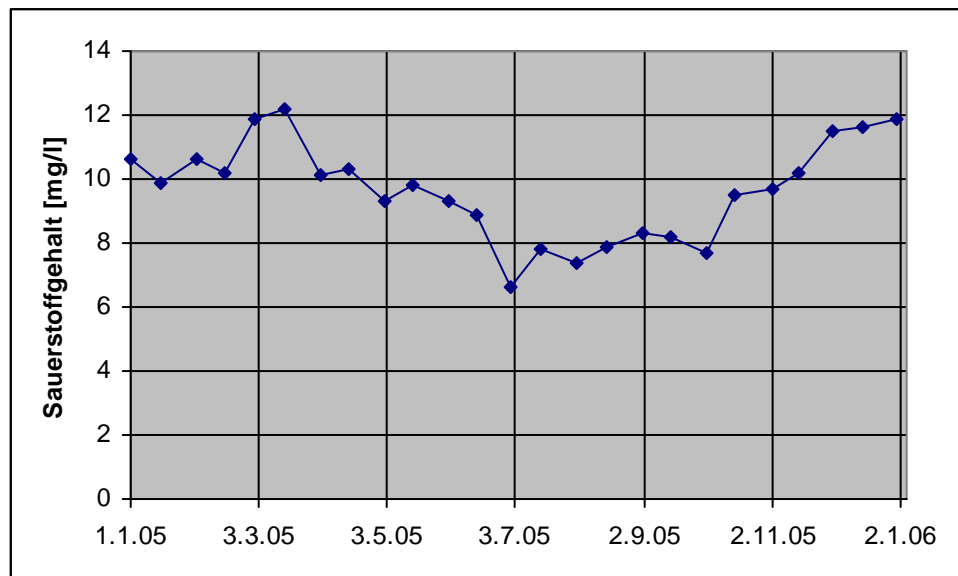


Diagramm 1 [Quelle: www.lua.nrw.de] [3]

2.4.3 Messverfahren

2.4.3.1 Bestimmung von gelöstem Sauerstoff nach Winkler

Gelöster Sauerstoff oxidiert in alkalischem Milieu Mn^{2+} zu Mn^{4+} , wobei sich eine Niederschlag bildet, der durch Zugabe von Säure ($pH < 1$) gelöst wird. Hierbei entstehen Mn^{3+} -Ionen. Diese wiederum oxidieren eine dem Sauerstoff äquivalente Masse Iodid-Ionen zu Iod, wobei sie zum ursprünglichen Mn^{2+} reduziert werden. Dieses Iod wird durch eine Natriumthiosulfatlösung bekannten Gehaltes titriert, wobei man hier durch die verbrauchte Menge indirekt den anfänglichen Sauerstoffgehalt bestimmen kann.

2.4.3.2 elektrometrische Sauerstoffbestimmung

Bei dieser Methode werden in einem mit Elektrolyt gefüllten Reaktionsraum eine Goldkathode und eine an den Redoxvorgängen beteiligte Silberanode mit ~ 790 mV Gleichspannung polarisiert. Über den Reaktionsraum ist eine Sauerstoffdurchlässige Membran gespannt durch die der Sauerstoff der zu messenden Probe diffundiert. Der sich im Reaktionsraum befindliche Sauerstoff wird an der Kathode reduziert, wodurch sich der Polarisationsstrom um einen Betrag ändert, der proportional zur Masse des Sauerstoffs ist.

2.4.3.3 Sauerstoffmessung nach optischem Prinzip der Lumineszenz

Die Messung erfolgt über eine sauerstoffsensitive Schicht, die von einer blauen Leuchtdiode angeregt wird. Ist auf der einen Seite der fluoreszierenden Schicht Sauerstoff vorhanden, sendet die Schicht rotes Licht zurück. Die Zeit zwischen Anregung und Rückstrahlung ist ein Maß für die Sauerstoffkonzentration im Wasser.

2.5 Der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB)

2.5.1 Definition

Der biochemische Sauerstoffbedarf ist ein Summenparameter, der die Menge Sauerstoff (in mg/l) angibt, die Bakterien und andere Kleinstlebewesen in einer Wasserprobe im Dunkeln bei 20°C verbrauchen, um die Wasserinhaltsstoffe aerob abzubauen.

Der Abbau ist zeitabhängig und man hat sich in Deutschland auf die Bestimmung des BSB₅, also dem verbrauchten Sauerstoff nach 5 Tagen, geeinigt. Ein Kompromiss, da bei gut abbaubaren häuslichen Abwässern erst nach ungefähr 20 Tagen die Stoffe vollkommen abgebaut sind, aber man möglichst schnell ein Ergebnis haben möchte. Die Erfahrung zeigt, dass nach 5 Tagen bereits ungefähr 70% des Sauerstoffs verbraucht ist.

Normen: - DIN 38 409 - H51 zur "Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs in n Tagen nach dem Verdünnungsprinzip (Verdünnungs-BSB_n)"
 - DIN 38 409 - H52 zur "Bestimmung der Sauerstoffzehrung in n Tagen"
 - DIN EN 1899-1

Die Einheit des BSB ist mg(O₂)/l

Der BSB wird immer mit einem Index angegeben, der für die Anzahl der Tage steht.

2.5.2 Bedeutung

Wie aus der Definition hervorgeht bezieht sich der BSB-Wert auf die biologische (natürliche) Abbaubarkeit der organischen Inhaltsstoffe einer Wasserprobe. Ein hoher BSB-Wert gibt somit eine hohe organische Belastung des Gewässers an, die aber auf biologischem Wege abbaubar ist. Da der mikrobielle Abbau aber einen hohen Sauerstoffbedarf hat kann eine übermäßige Abwassereinleitung zu einer starken Sauerstoffzehrung führen, und es besteht die Gefahr, dass das Gewässer anaerob wird, es „kippt“ um. Fische und andere höhere Organismen überleben diese Situation nicht.

In der Regel liefert der BSB eine verlässliche Aussage zur Bioabbaubarkeit von Substanzen im kommunalen Bereich. In seltenen Fällen kann es jedoch zu einer Selbstverdauung der Mikroorganismen kommen, die einen biologischen Abbau der Probeninhaltsstoffe vortäuschen. Diese Fehleinschätzung kann zum Ausfall von Kläranlagen führen. Neuere Entwicklungen zur Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs zielen deshalb darauf,

neben dem Sauerstoffverbrauch auch die Kohlendioxidproduktion zu messen.

Bei industriellen Wässern kann die BSB-Analyse nur dann aussagefähige Ergebnisse liefern, wenn an das spezifische Industrieabwasser adaptierte Mikroorganismen eingesetzt werden, z.B. aus dem Klärwerk eines Industriebetriebes (was eine Abweichung von der DIN-Norm wäre). Erfahrungen zeigen, dass bereits der Einsatz unterschiedlicher Mikroorganismen aus unterschiedlichen kommunalen Klärwerken zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Eine das BSB-Ergebnis verfälschende Nitrifikation (da Sauerstoff verbraucht wird) wird durch Nitrifikationshemmstoffe verhindert.

Jeder Einwohner verursacht durch seinen Stoffwechsel einen mittleren BSB von 60 g/d. Diesen Wert bezeichnet man auch als „Einwohnergleichwert“

Häusliche Abwässer haben ungefähr einen BSB-Wert von 300 mg/l. [1]
Der Grenzwert im Ablauf der kommunalen Kläranlage in Mannheim liegt bei 15 mg/l [7]

Weitere Beispielwerte siehe CSB: Beurteilung anhand der Gewässergüteklasse

2.5.3 Meßverfahren

2.5.3.1 Verdünnungs-BSB

Bei dieser Methode wird die Wasserprobe in unterschiedlichen Verhältnissen mit belüftetem Wasser verdünnt und dann 5 Tage im Dunkeln bei 20°C gelagert. Danach wird der Sauerstoffgehalt iodometrisch (EN 25813), elektrometrisch (EN 25814) oder nach dem Winkler-Verfahren bestimmt (siehe auch Messverfahren zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes).

2.5.3.2 Manometrische/respirometrische BSB-Messung (BSB-OxiDirect, Firma Aqualytic)

Im Laufe der BSB-Bestimmung verbrauchen die Bakterien der eingefüllten Wasserprobe den im Wasser gelösten Sauerstoff. Dieser wird durch Luftsauerstoff aus dem Gasraum der Probenflasche ersetzt. Das gleichzeitig entstehende Kohlendioxid wird z. B. durch Kaliumhydroxidlösung oder Natronkalk gebunden. Dadurch entsteht im System eine Druckabnahme. Diese Druckabnahme ist direkt proportional zum BSB-Wert und wird gemessen.

2.5.3.3 CSB-Differenzmethode

Der CSB ist immer höher als der BSB, da dieser oxidierbare Substanzen sowohl organischer als auch anorganischer Art erfasst (siehe hierzu 2.6 CSB). Zur BSB-Bestimmung wird einfach der CSB vor und nach der Inkubation gemessen. Die Differenz der Werte entspricht dem biochemischen Abbau, also dem BSB.

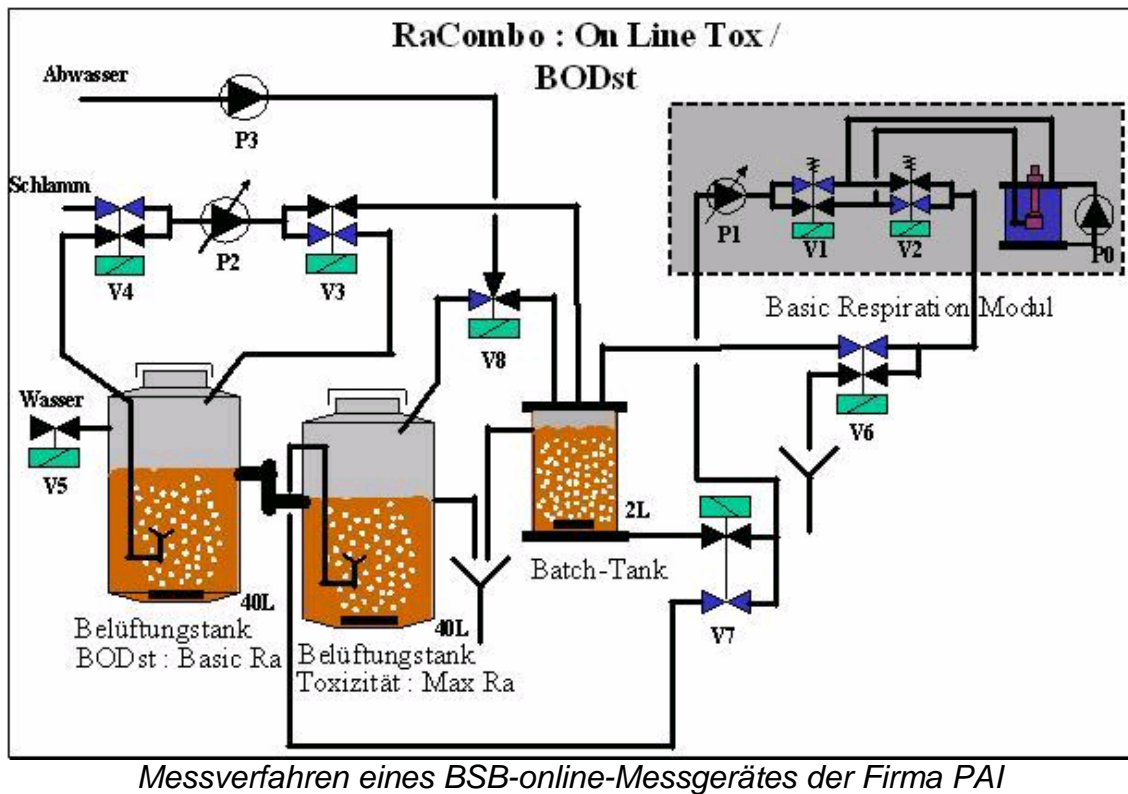
2.5.3.4 Sapromatmethode:

Der durch Sauerstoffzehrung und Kohlendioxidabsorption (z.B. an Kalium- oder Lithium-hydroxid) verursachte Unterdruck löst einen Impuls aus, durch den elektrolytisch Sauerstoff erzeugt wird, der dem Messgefäß (z.B. Karlsruher Flasche) hinzugefügt wird. Aus der Impulszahl kann dann direkt die verbrauchte Sauerstoffmenge abgeleitet werden. Der Vorteil liegt darin, dass die Messung im Originalabwasser bei gleich bleibender Sauerstoffkonzentration ohne Begrenzung der Messzeit erfolgt und stellt daher die Standardmethode dar.

2.5.3.5 online Messverfahren

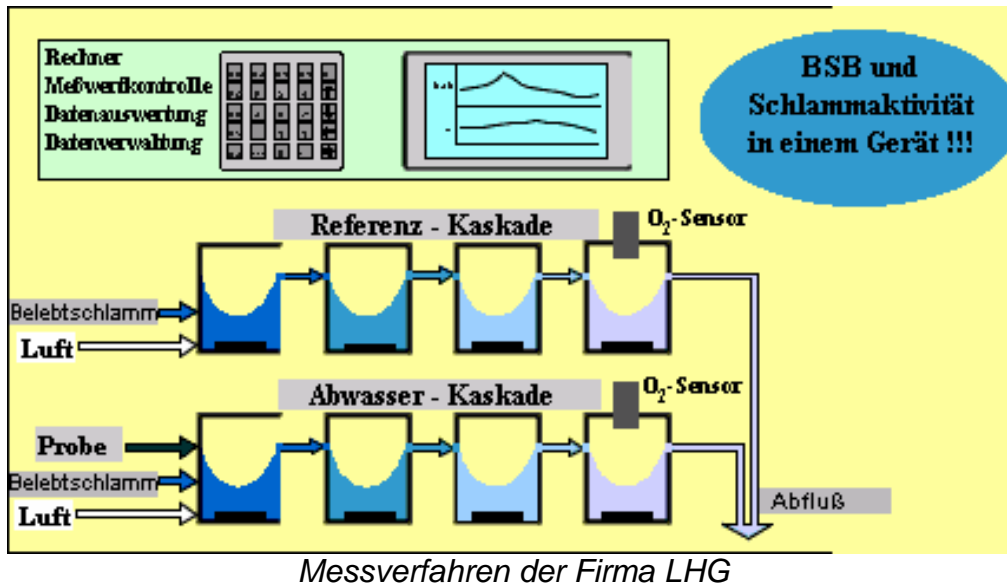
Das Ziel der online-Verfahren ist es, bereits nach wenigen Minuten und nicht erst nach 5 Tagen ein Ergebnis vorliegen zu haben.

Hierbei wird das zu prüfende Wasser durch eine Art „Miniaturkläranlage“ geführt. Es wird ein Belebtschlamm mit bereits adaptierten Mikroorganismen im Kreis geführt, der die Wasserinhaltsstoffe abbaut. Man misst den verbrauchten Sauerstoff, wobei der Sauerstoffanteil der Eigenatmung der Bakterien noch abgezogen werden muss. Es gibt heutzutage schon Biosensoren, die nach 3 Minuten ein Ergebnis anzeigen. Diese schnellen Ergebnisse zeigen Abweichungen zum BSB₅, sind aber für Überwachungsfunktionen ausreichend genau.



Während der Messung werden folgende Schritte durchgeführt:

1. Aktivschlamm und Abwasser werden durch den Reaktor gefördert um diesen zu spülen.
2. Der Inhalt des Reaktors wird durch die Messzelle hinausgefördert.
3. Der Reaktor wird mit frischem Aktivschlamm gefüllt. Der Überschuss läuft über den Überlauf ab.
4. Während einer Zeit von mind. 5 min wird der Grundsauerstoffbedarf des Aktivschlammes gemessen. Hierzu wird der Mittelwert aus 5 Messungen herangezogen.
5. Eine definierte Menge Abwasser wird zugeführt.
6. Der Sauerstoffbedarf wird bestimmt. Während der Messung sollte die Respirationsrate auf den Wert des zuvor gemessenen Grundsauerstoffbedarfs absinken.
7. Wartezeit bis zur nächsten Messung



Das patentierte Messverfahren des BioMonitor arbeitet wie eine Miniaturkläranlage. Der direkt aus der Anlage zugeführte oder mit dem Schlammrecycling im Kreislauf geführte Belebtschlamm baut die Inhaltsstoffe des Abwassers ab. Der hierfür erforderliche Sauerstoff wird gemessen. Dieser Vorgang erfolgt in der Abwasserkaskade des BioMonitor, die genau wie ein Belebungsbecken arbeitet. (siehe Abb.). Da die im Belebtschlamm enthaltenen Mikroorganismen ebenfalls Sauerstoff veratmen, muss zur genauen BSB-Bestimmung die Eigenatmung (BSR) vom Gesamtsauerstoffverbrauch der Probe abgezogen werden. Diese Eigenatmung wird in der Referenzkaskade vom BioMonitor bestimmt. Anschließend wird der BSB der Probe aus der Differenz der Messwerte beider Kaskaden berechnet.

2.6 chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

2.6.1 Definition CSB

Mit dem CSB bestimmt man die Menge aller chemisch oxidierbaren Verbindungen einer Wasserprobe. Der CSB-Wert kennzeichnet die Menge an Sauerstoff, welche zur Oxidation der gesamten im Wasser enthaltenen organischen Stoffe verbraucht wird.

Beim CSB werden, im Gegensatz zum BSB, auch die biologisch schwer oder nicht abbaubaren Stoffe sowie einige anorganische, wie z. B. Iodid, Nitrit und einige Schwefelverbindungen miterfasst.

Die Einheit des CSB ist $\text{mg}(\text{O}_2)/\text{l}$

- DIN/DEV 38409 - H 41 (CSB > 15 mg/l)
- DIN/DEV 38409 - H 43 (CSB-Kurzzeitmethode)
- DIN/DEV 38409 - H 44 (CSB 5 - 50 mg/l)

2.6.2 Bedeutung CSB

Der CSB dient zusammen mit anderen Werten der Berechnung und der Kontrolle der Reinigungsleistung einer Kläranlage oder auch zur Ermittlung der zur Desinfektion notwendigen Menge an Chlor in Trinkwasser. Er ist außerdem einer der Parameter,

die bei den nach dem Abwasserabgabengesetz erhobenen Abgaben berücksichtigt werden.

Durch Vergleich von CSB und BSB kann die biologische Abbaubarkeit organischer Stoffe beurteilt werden. Ist der BSB nur wenig kleiner als der CSB (bis zu ca. 50% CSB), dann handelt es sich in der Regel um biologisch gut abbaubare Stoffe. Ist der CSB jedoch wesentlich größer, so sind die enthaltenen Stoffe entweder persistent, d.h. lange in der Umwelt verbleibend, oder aber für die Mikroorganismen des Testsystems in der vorliegenden Konzentration toxisch.

Bei häuslichen Abwässern liegt der CSB mit 600 mg/l in der Regel etwa doppelt so hoch wie der BSB₅. [1]

Der Grenzwert im Ablauf der kommunalen Kläranlage in Mannheim liegt bei 75 mg/l [7]

Der Grenzwert in der Trinkwasserverordnung liegt bei 5 mg/l

Beurteilung anhand der Gewässergüteklasse:

Güteklasse	O ₂ -Gehalt in % der Sättigung	BSB ₅ in mg/l	CSB in mg/l	Saprobienindex	Charakterisierung des Wassers	Bemerkung
I	100	<2	<2	1 -1,5	Unbelastet	Laichwasser für Edelfische
I-II	85-100	2-3	2-6	1,5-1,8	Gering belastet	Gesunde und gesicherte Artenvielfalt
II	70-85	3-4	6-9	1,8-2,3	Mäßig belastet	Ertragreiche Fischgewässer
II-III	50-70	4-7	9-18	2,3-2,7	Kritisch belastet	Beginn des Fischsterbens
III	25-50	7-40	18-80	2,7-3,2	Stark verschmutzt	Periodisches Fischsterben
III-IV	10-25	40-120	80-200	3,2-3,5	Sehr stark verschmutzt	Fischvorkommen kaum noch möglich
IV	0-10	>120	>200	3,5-4	Übermäßig verschmutzt	Biologisch totes Gewässer

2.6.3 Messverfahren

2.6.3.1 Norm-Methode (Küvettest)

Hierbei werden die organischen Inhaltsstoffe durch Schwefelsäure und Kaliumdichromat in die Endprodukte CO₂ und H₂O zersetzt. Der dabei verbrauchte Sauerstoff ist ein Indikator für die Menge der oxidierten Verbindungen.

Der Küvettest beinhaltet diese Chemikalien bereits in entsprechenden Mischungen und man kann hiermit ohne die Chemikalien selbst herstellen zu müssen schnell Tests durch-führen. Ein Teil der Wasserprobe wird in die Küvette gegeben, diese dann 2 Stunden bei 148°C in den Thermoreaktor gestellt und danach über die Färbung photometrisch der CSB-Wert bestimmt.

2.6.3.2 CSB/TOC/DOC-Bestimmung durch UV-Absorption (Firma PAI)

Die organischen Verbindungen werden durch Messung der UV-Absorption bei 254 nm bestimmt, mögliche Interferenzen durch Trübungen werden durch Messung bei einer zweiten Wellenlänge kompensiert. Um eine maximale Reproduzierbarkeit zu gewährleisten wird für jede Messung eine Serie von Lichtimpulsen verwendet, über

deren Ergebnisse dann der Mittelwert gebildet wird. Die gemessene Absorption wird über eine Korrelation in den CSB oder TOC/DOC-Wert umgerechnet

2.6.3.3 CSB-Bestimmung über thermische Verbrennung (QuickCOD, Firma LAR)

Der QuickCOD arbeitet ohne Katalysator bei einer maximalen Arbeitstemperatur von mehr als 1200°C. Dadurch werden alle Inhaltsstoffe, ungeachtet ihrer Zusammensetzung, schnell und effektiv oxidiert. Nach der Verbrennung werden die entstehenden Verbrennungsgase in einem Gaskühler bis auf 4°C abgekühlt und über ein Absorbersystem dem Infrarotanalysator zugeführt. Der QuickCOD ermöglicht die CSB-Messung innerhalb einer Minute.

2.6.3.4 CSB-Bestimmung über elektrochemisches Verfahren (Elox100, Firma LAR)

Durch Anlage eines elektrischen Potentials an eine Elektrode entstehen OH-Radikale als Oxidationsmittel. Da OH-Radikale ein höheres Oxidationspotential besitzen, als gängige Oxidationsmittel (wie z. B. Ozon oder Wasserstoffperoxid), können auch schwer oxidierbare Wasserinhaltsstoffe schnell oxidiert werden.

2.6.3.5 CSB-Bestimmung über Oxidation mit Ozon (Oxi-Jet, Firma UVT)

Die Abwasserinhaltsstoffe werden mit Hilfe von Ozon als eines der stärksten Oxidationsmittel oxidiert. Durch entstehende Hydroxylradikale werden dabei auch schwer abbaubare Stoffe erfasst. Der Sauerstoffverbrauch wird sensorisch über Konzentrationsänderungen in der Gasphase gemessen, so dass der Sensor mit Abwasser nicht in Kontakt kommt und nicht regeneriert werden muss. Dadurch werden auch Messwertverfälschungen aufgrund von Querempfindlichkeiten mit Abwasserinhaltsstoffen (z.B. hohe Salzfrachten) vermieden und eine hohe Messwertauflösung erreicht.

2.7 TOC (total organic carbon)

2.7.1 Definition TOC

Der TOC-Wert ist die Konzentration an organisch gebundenem Kohlenstoff als Maß für die Konzentration an organischer Substanz im Abwasser. Der TOC kann sehr schnell und mit kleinen Probenmengen ermittelt werden. Die Wasserinhaltsstoffe werden verbrannt, und die entstehende Kohlendioxidmenge wird z.B. durch Infrarotspektroskopie bestimmt.

Die Dimension des TOC ist mg/l

Normen: DIN 38409 Teil H3
 ISO 8245
 EN 1484

2.7.2 Bedeutung

Der TOC ist ein Summenparameter für den Gehalt an organischen Stoffen im Wasser. Dabei wird der gelöste organische und der partikulär organisch gebundene Kohlenstoff erfasst. Da hierbei auch Schwebstoffe und Algen berücksichtigt werden, ist eine Interpretation der Messergebnisse nicht immer einfach. Für eine ausführliche Beurteilung des gesamten Sauerstoff-Haushaltes eines Gewässers ist dieser Parameter aber unerlässlich.

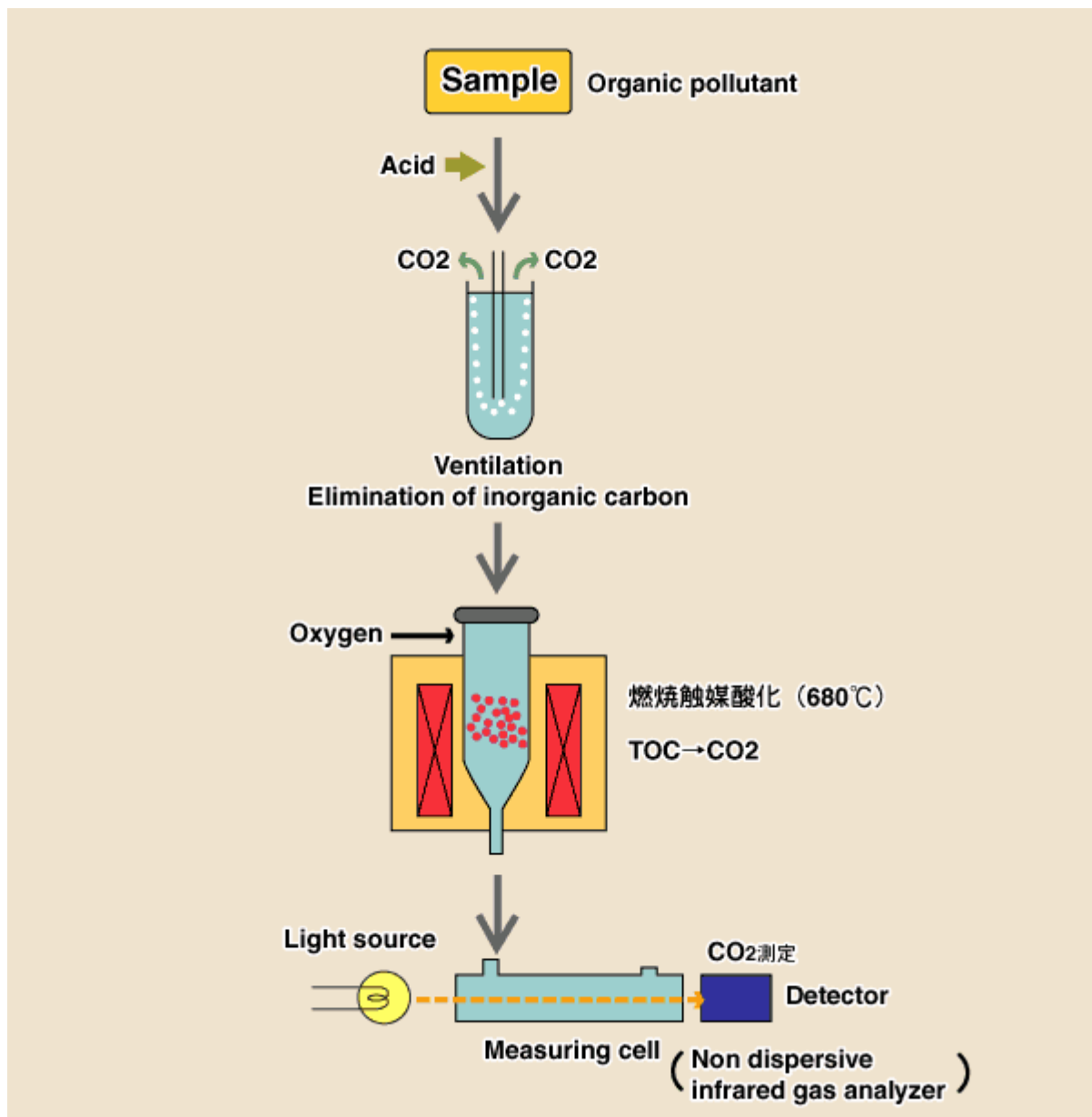
Vergleicht man den TOC-Wert mit dem CSB-Wert, so kann man auf den organischen Anteil der Wasserinhaltsstoffe schließen, da der CSB-Wert organische und anorganische Verbindungen erfasst.

Vergleicht man den TOC-Wert mit dem BSB₅-Wert, so kann man auf den Anteil schwer abbaubarer Verbindungen schließen, da diese beim TOC miterfasst werden.

Richtwerte: [2]

- Gering belastete Gewässer weisen einen TOC-Gehalt von 1-2 mg/l auf
- stark verschmutzte Gewässer weisen einen TOC-Gehalt von über 10 mg/l auf

2.7.3 Messverfahren



Quelle: www.apec-vc.or.jp

2.7.3.1 TOC-Analyse nach Prinzip der katalytischen Verbrennung (z.B. liquiTOC, Firma Elementar)

Die Wasserprobe wird bei 680 bis 950 °C mit Hilfe eines Platinkatalysators vollständig oxidiert. Das dabei gebildete Kohlendioxid wird durch ein Trägergas (Stickstoff) aufgefangen. Anschließend wird über einen Infrarotdetektor die Menge Kohlendioxid bestimmt, welche auf den TOC umgerechnet werden kann.

2.7.3.2 TOC-Analyse nach Persulfatmethode

Zur Wasserprobe wird zunächst Säure hinzugegeben, wodurch der anorganische Kohlenstoff in Kohlendioxid umgewandelt wird. Das Kohlendioxid wird mit Stickstoff ausgetrieben und durch Infrarotspektroskopie als TIC gemessen. In einem zweiten Schritt wird der Probe Persulfat zugegeben wodurch nun der organische Kohlenstoff in Kohlendioxid umgewandelt und anschließend wieder gemessen.

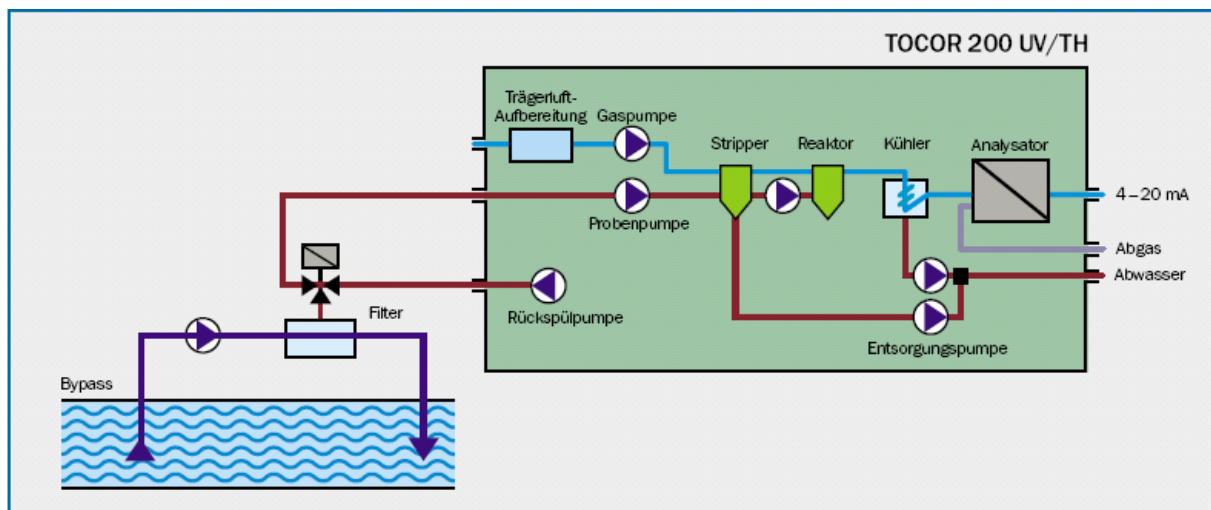
2.7.3.3 TOC-Analyse auf Basis überkritischer Nassoxidation

In einer beheizten Kapillare (Reaktor) werden die organischen Substanzen mit Hilfe des durch eine elektrochemische Zelle in-situ erzeugten Oxidationsmittels zu CO_2 umgesetzt. Anschließend wird die Lösung kondensiert und mit einer konstanten Fließgeschwindigkeit in eine Durchflußzelle geleitet. In der Durchflußzelle diffundiert ein Teil des gebildeten CO_2 durch eine hydrophobe Membran. Dieser CO_2 -Gasstrom ist proportional dem in der Meßlösung gelösten CO_2 und wird massenspektrometrisch nachgewiesen. Bei diesem Verfahren ist im Gegensatz zur katalytischen Verbrennung kein Katalysator notwendig. Außerdem ist dieses Verfahren auch für online Messungen verwendbar.

2.7.3.4 TOC-Analyse durch Hochtemperaturverbrennung (Quick-TOC, Firma LHG)

Der QuickTOC arbeitet im Vergleich zu 2.7.3.1 bei höheren Temperaturen von rund 1200° und kann dadurch auf den Katalysator verzichten. Der Aufschluß aller Kohlenstoffverbindungen einschließlich der anorganischen Komponenten ist hierdurch gewährleistet.

Der TOCOR 200 der Firma Sick-Maihak arbeitet ähnlich. In der Probe enthaltene anorganische Verbindungen werden zunächst über einen Stripper entfernt. Die verbleibenden organischen Verbindungen werden dann durch hohe Temperaturen zu CO_2 oxidiert. Das entstandene CO_2 wird von einem konstanten (CO_2 -freien) Trägergasstrom ausgetrieben und in einem NDIR-Gasanalysator detektiert.



Messverfahren des TOCOR 200 [Quelle: www.sick.de]

2.7.3.5 TOC-Analyse über Leitfähigkeitsmessung (online)

Der Probestrom wird im Analysator zweigeteilt. Bei einem der Ströme wird die Grundleitfähigkeit der Probe gemessen und auf eine Seite einer semi-permeablen Membran geführt. Der andere Strom wird durch einen UV-Brenner oxidiert, wobei der organisch gebundene Kohlenstoff vollständig in Kohlendioxid umgewandelt wird. Strömt dieser Strom nun auf der anderen Seite der anfangs erwähnten semi-permeablen Membran vorbei, so kann an der Membran der Unterschied der Leitfähigkeit gemessen werden, da das entstandene Kohlendioxid die Leitfähigkeit erhöht. Man verwendet hier die Membranmethode und keine zweite direkte

Leitfähigkeitsmessung, da sich bei der Oxidation auch Chlor-Ionen, Ozon etc. bildet und dies den Wert der Leitfähigkeit ebenfalls beeinflusst.
Die Leitfähigkeitserhöhung ist ein direktes Maß für den TOC-Gehalt der Probe.

2.7.3.6 CSB/TOC/DOC-Bestimmung durch UV-Absorption (Firma PAI)

Die organischen Verbindungen werden durch Messung der UV-Absorption bei 254 nm bestimmt, mögliche Interferenzen durch Trübungen werden durch Messung bei einer zweiten Wellenlänge kompensiert. Um eine maximale Reproduzierbarkeit zu gewährleisten wird für jede Messung eine Serie von Lichtimpulsen verwendet, über deren Ergebnisse dann der Mittelwert gebildet wird. Die gemessene Absorption wird über eine Korrelation in den CSB oder TOC/DOC-Wert umgerechnet

2.8 Trübung

2.8.1 Definition

Die Eigenschaft von Wasser, eingestrahktes Licht an fein-dispersen, suspendierten Partikeln zu streuen bzw. die Durchsichtigkeit des Wassers zu verringern, wird als Trübung bezeichnet. Trübungen entstehen im Rohwasser durch organische und anorganische Schwebstoffe, sowie durch lebende Organismen.

Die Trübung wird in nephelometrischen Trübungseinheiten (NTU) gemessen.

DIN 38404 Teil 2

2.8.2 Bedeutung

Die Trübung ist allgemein ein Anzeichen für Verunreinigungen und ist bereits mit dem bloßen Auge qualitativ zu erkennen. Flüsse trüben sich z.B. durch mitgeführten Schlamm, Sand, Kies oder Geröll. Vom Wind aufgewühltes Wasser kann ebenfalls durch Lehm- oder Sandpartikel trüb aussehen. In stehenden Gewässern entstehen Trübungen hingegen häufig durch Wachstum von Bakterien oder einzelligen Lebewesen.

Werden Gewässer durch Dünger oder Exkremete stark belastet und sind zudem intensiver Sonneneinstrahlung ausgesetzt, kann es darüber hinaus zu einem massenhaften Auftreten von Algen kommen.

Die Trübung dient in der Wasseraufbereitung der Überwachung (z.B. bei schwankender Wasserqualität) und der Verfahrensoptimierung (z.B. Flockung, Filtration).

Grenzwert TrinkwV 2001: 1,0 NTU

Richtwerte [8]:

- NTU < 5 : klares Wasser
- 5 < NTU < 30 : leicht trübes Wasser
- NTU > 50 : trübes Wasser

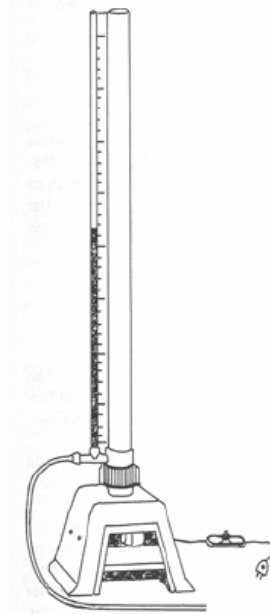
2.8.3 Meßverfahren

2.8.3.1 Verfahren mit dem Durchsichtigkeitszylinder

Die Wasserprobe wird gut durchmischt und in einen Durchsichtigkeitszylinder gefüllt, unter den ein Schriftstück gelegt wird. Es wird nun solange Wasser aus dem Zylinder abgeführt, bis man die Schrift erkennen kann. Die Höhe der Wassersäule ist dann ein Maß für die Trübung.

2.8.3.2 Verfahren mit der weißen Sichtscheibe

Bei diesem Verfahren wird eine weiße Sichtscheibe mit einem Durchmesser von 20cm an einer Schnur in ein Gewässer eingetaucht bis sie gerade noch zu erkennen ist. Die Eintauchtiefe ist hier ein Maß für die Trübung.



Durchsichtigkeitszylinder [5]



weiße Porzellanscheibe (Secchi-Scheibe) [5]

2.8.3.3 Verfahren mit dem Photometer

Bei dem photometrischen Verfahren wird die Extinktion als Maß für die Trübung gemessen.

Je nach Norm verwendet man eine Infrarot-LED bei 680 nm Wellenlänge (EN-Norm) oder eine Wolfram-Breitbandlichtquelle (US-EPA).

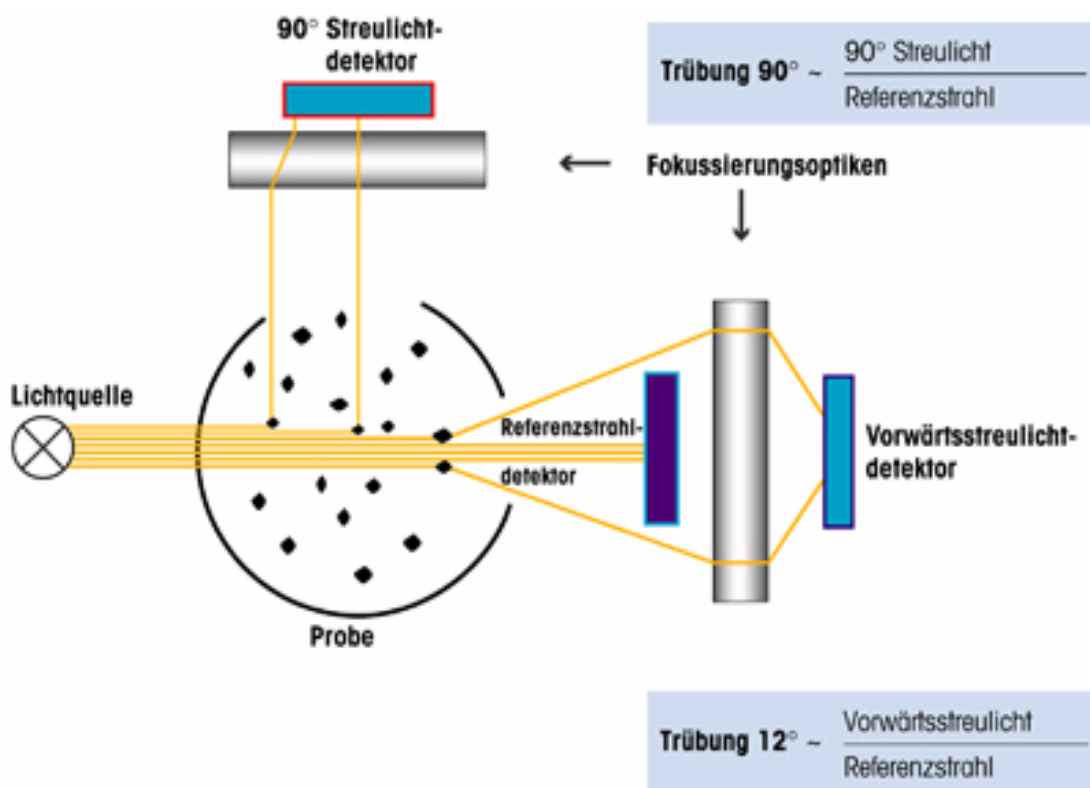
Es gibt auch verschiedene Möglichkeiten die Lichtquelle und den Sensor zu platzieren, wobei diese meist nicht direkt gegenüber platziert werden, sondern entweder mit 12° oder 90° Abweichung. Es gibt auch Messgeräte mit Detektoren an beiden Stellen, somit kann man bei Vergleich der beiden Werte eine Aussage über die Partikelgröße machen

- Ist der 12° Messwert höher, liegt die durchschnittliche Partikelgröße oberhalb von ca. 0,3 - 0,5 mm.
- Ist der 90° Messwert höher, liegt die durchschnittliche Partikelgröße unterhalb von ca. 0,3 - 0,5 mm.

Hersteller von Trübungsmessgeräten u. a.:

WTW: Turb 550 IR; Mettler Toledo: Inpro8500; PCE: C114; Aqualytic: Turbidity LAB-IR

Unterschiede: Einige Trübungsmessgeräte verfügen über mehrere Detektoren, so dass auf Wunsch das Streulicht aus verschiedenen Winkeln gemessen werden kann. Je nach Partikelgröße liefert die 12° Streumessung genauere Werte als die 90° Streumessung.



Messanordnung des Inpro85000 von Mettler Toledo[www.mt.com]

2.9 spektraler Absorptionskoeffizient (SAK)

2.9.1 Definition

Der spektrale Absorptionskoeffizient wird mit dem Photometer bei 2 unterschiedlichen Wellenlängen bestimmt: bei 254 und 436 nm. Beide Messungen beziehen sich nur auf gelöste Wasserinhaltsstoffe, so dass die Wasserprobe durch eine Membran (Porenweite 450nm) gefiltert werden muss. Die Trinkwasserverordnung verlangt lediglich die Überprüfung des SAK bei 436 nm.

DIN 38404 Teil 1

SAK 436 nm

Die Messung bei 436 nm Wellenlänge liefert eine Aussage über die Färbung des Wassers, wodurch man auf Stoffe rückschließen kann, die eine solche Färbung erzeugen. Dies sind hauptsächlich Huminstoffe, die das Wasser gelb bis gelb-braun verfärben und die durch diese Messung erfasst werden. Die Wellenlänge 436 nm entspricht blauem Licht, mit dem die gelblichen Verfärbungen der Huminstoffe besonders gut gemessen werden können.

SAK 254 nm

Die Messung bei 254 nm Wellenlänge lässt Rückschlüsse auf Vorhandensein und Menge von C-C Doppel- bzw. Dreifachbindungen zu. Da bei Wellenlängen <250 nm Nitrat das UV-Licht absorbiert und somit Einfluss auf den Messwert hat, wird bei 254 nm gemessen da das Nitrat nicht berücksichtigt werden soll. Beim SAK 254 nm haben auch Huminstoffe einen Einfluss, so dass die Messung beider SAK-Werte sinnvoll ist um diesen Anteil einschätzen zu können und die Menge der Stoffe mit Doppel- und Dreifachbindungen (z. B. aromatische Verbindungen) abschätzen zu können.

2.9.2 Bedeutung

Der SAK-Wert ist laut Trinkwasserverordnung nur bei 436 nm zu messen. Durch Messung beider Werte kann allerdings das Auftreten von C-C Doppel bzw. 3-fach Bindungen überprüft und gegebenenfalls gezieltere Nachmessungen zur Überprüfung durchgeführt werden.

Der SAK ist eine relativ neue Messgröße in der Wasseranalytik, die aber aufgrund der schnellen und unkomplizierten Messung an Bedeutung gewinnt.

Grenzwert in der Trinkwasserverordnung für SAK 436 nm: $0,5 \text{ m}^{-1}$

Beispielwerte: Aufbereitung eines Talsperrenwassers

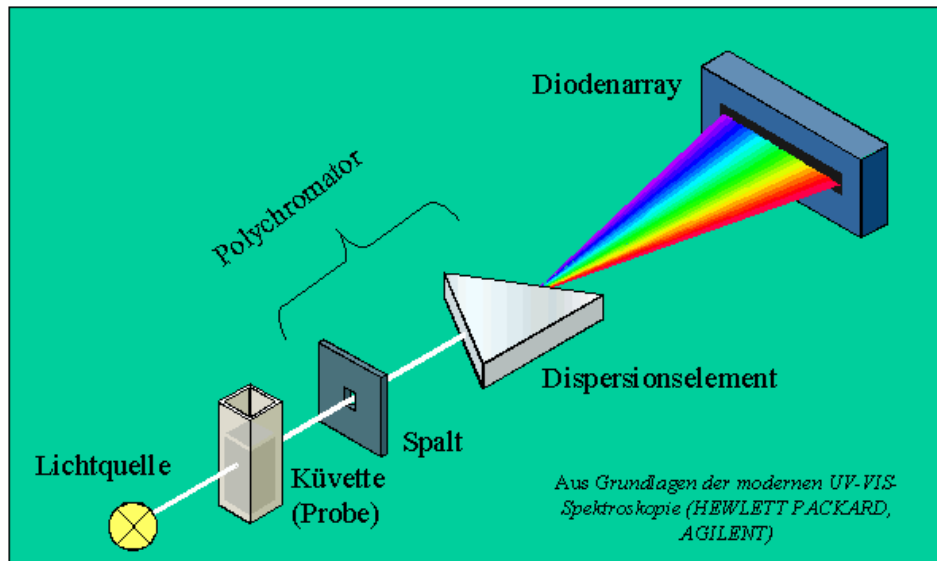
	Rohwasser	Reinwasser
SAK 254 nm [m^{-1}]	5,6	1,6
SAK 436 nm [m^{-1}]	0,46	0,19

Weitere Beispielwerte für SAK 254 nm in m^{-1} :

Rhein, Basel	4,20
Rhein, Duisburg	10,36
Elbe, Hamburg	21,9

2.9.3 Messverfahren

Die Bestimmung erfolgt ausschließlich über das photometrische Verfahren, bei dem die Extinktion der Wasserprobe bei entsprechender Wellenlänge gemessen wird. Mit Extinktion bezeichnet man die Abschwächung des Lichtes.



Messprinzip eines Photometers [6]


3. Versuchsdurchführung

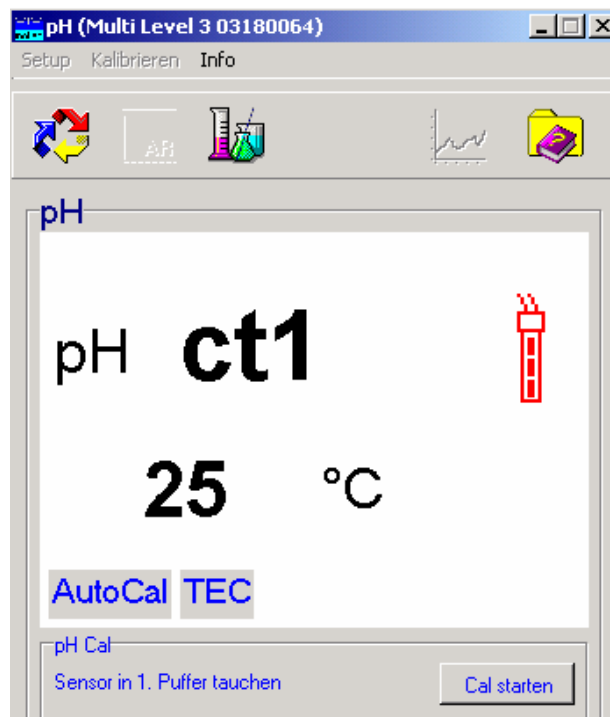
Die Bestimmung des pH-Wertes, der Redoxspannung, der elektrischen Leitfähigkeit und des Sauerstoff-gehaltes erfolgt mit dem InoLab Level 3 Messsystem der Firma WTW mit PC-Unterstützung. Es besteht aus verschiedenen Sensoren, dem Terminal, einem herkömmlichen PC mit Bildschirm und der Messsoftware Multiplan.



3.1 Messung des pH-Wertes

- Der PC wird von dem Laborassistenten eingeschaltet.
- Beim Start der Software InoLab Level 3 Multifunktionsbox auswählen
- Die pH-Einstabmesskette (SenTix 41) mit dem Messmodul verbinden (Einsteckmöglichkeit auf der Rückseite, Beschriftung beachten).
Darauf achten, dass beide Kabel verbunden sind, eines ist für die pH-Messung, das andere für die Temperatur.
- Zunächst wird eine 4-Punkt-Kalibrierung mit den Kalibrierstandards pH 2/ 4,01/7/10 durchgeführt.

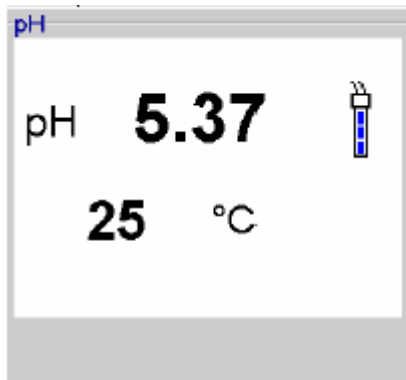
- Starten der  Kalibrierung
- pH-Elektrode aus Lagerungslösung herausnehmen und mit destilliertem Wasser abspülen
- pH-Elektrode in den Kalibrierstandard eintauchen



- Auf „Cal starten“ klicken
- Kurz warten, bis Wert übernommen wird oder eventuell den konstanten Wert manuell übernehmen
- Die pH-Elektrode aus Messstandard rausnehmen und mit destilliertem Wasser abspülen
- pH-Elektrode wieder in die nächste Kalibrierlösung eintauchen usw.

Anschließend erfolgt die eigentliche Messung (mitgebrachte Probe + Leitungswasser der Hochschule):

- pH-Elektrode mit destilliertem Wasser abspülen
- pH-Elektrode in Wasserprobe eintauchen
- Messwert ablesen und auch die Temperatur notieren



3.2 Messung von Redoxspannung, elektrischer Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt

Die Messung dieser Parameter erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie die Messung des pH-Wertes.



= Wechsel zwischen den verschiedenen Messparametern

Besonderheiten:

- Leitfähigkeitsmesszelle (TeraCon) misst zusätzlich noch die Salinität (Salzgehalt) und den Filtrattrockenrückstand (TDS)
- Der Sauerstoffsensoren (CelloX 325) benötigt zur ausreichenden Belüftung noch einen zusätzlichen Aufsatz
- Bei der Sauerstoffmessung wird die 100% Sättigung anhand belüfteten Leitungswassers überprüft
- Beim Eintauchen des Sauerstoffsensors darauf achten, dass sich unten keine Luftblase bildet

3.3 Messung des CSB

Die Durchführung der CSB-Messung mit den Reaktionsküvettentest ist im Anhang der Versuchsbeschreibung im Labor ausführlich beschrieben. Zu Beachten sind hier die unterschiedlichen Messbereiche der Küvettentests.

3.4 Messung des TOC

Die Messung des TOC-Gehaltes mit Hilfe der Reaktionsküvettentests ist ebenfalls im Anhang der Laborversuchsbeschreibung ausführlich beschrieben

3.5 Trübungsmessung

Das Messgerät wird zum Warmlaufen bereits vor Versuchsbeginn vom Laborassistenten eingeschaltet.

Bei dem Umgang mit den Küvetten sind generell Handschuhe zu benutzen um Fingerabdrücke auf der Küvette zu verhindern, da dies Einfluss auf das Messergebnis hat.

Kalibrierung:

- Kalibrierstandards bereitstellen, der 10.0 NTU-Standard muss gemäß Anleitung auf der Vorratsflasche befüllt werden
- Taste „CAL“ drücken
- 1000 NTU-Standard einsetzen und anhand der Markierung ausrichten
- Eingabetaste drücken
- usw.

Messung:

- Eine saubere Küvette ist mit dem Probewasser auszuspülen und dann zu befüllen
- Küvette verschließen und in den Schacht einsetzen
- Der Messwert erscheint sofort, allerdings ist dieser aufgrund von Unregelmäßigkeiten im Glas der Küvette bei Drehung nicht konstant
- Die Küvette ist um 360° zu drehen und beim niedrigsten Wert zu belassen
- Dieser Wert wird notiert
- Küvette leeren und dann mit dest. Wasser ausspülen und trocknen lassen
- Eine trockene Küvette in den Schacht einsetzen um diesen vor Staub zu schützen

3.6 Messung des SAK

- Vor der Messung wird die Probe gefiltert und in eine Küvette gefüllt. Hierbei sollten Handschuhe benutzt werden, damit keine Fingerabdrücke auf der Küvette hinterlassen werden.
- Zur Blindprobe wird eine zweite Küvette mit dest. Wasser gefüllt
- PC und Photometer einschalten
- Auf der DOS-Ebene „cd uv“ eingeben und mit Enter bestätigen
- Danach hp8452 eingeben und mit Enter bestätigen

à Das Programm startet nun

Die Menüführung erfolgt über die Tasten F1 bis F10

- F2 drücken
- single wavelength auswählen
- 254 nm eingeben
- Blindprobe einsetzen (Hebel nach oben ziehen)
- F8 drücken → das Photometer misst die Blindprobe
- Mit F10 zurück
- F7 drücken um ins Analysemenü zu gelangen
- Probe einsetzen
- Mit F1 scan sample wird die Probe gemessen
- Bei sample name „unbek. Probe“ eingeben
- Der Messwert erscheint nun und ist zu notieren
- Mit F10 und „t“ für top level wieder ins Ausgangsmenü zurück
- Für die Messung des SAK 436 nm ist die selbe Vorgehensweise durchzuführen, lediglich bei der single wavelength wird 436nm statt 254nm eingegeben.

4. Quellen

www.wikipedia.de [1]

www.wasser-wissen.de [2]

www.lua.nrw.de/ [3]

<http://www.hamburg.de/Behoerden/Umweltbehoerde/> [4]

web.uni-marburg.de/ [5]

www.faes.de [6]

Info-Broschüre Klärwerk Mannheim (Grenzwerte von 1994) [7]

www.lenntech.com [8]

Höll „Wasser“