

Beispiel 2

Bei vollständiger Oxidation liefert 1 mol einer organischen Verbindung 4 mol Wasser. Die Verbindung könnte sein

- 1 Methanol
- 2 Propan
- 3 Ethen
- 4 Buten-1

Überprüfen von Aussagen

Es wird eine Aussage und eine Begründung angegeben. Beides ist auf Richtigkeit zu prüfen. Außerdem ist zu prüfen, ob die Begründung für die Aussage richtig oder falsch ist. Es gilt folgendes Bewertungsschema:

Aussage Begründung

richtig	richtig	richtige Begründung für die Aussage	= A
richtig	richtig	falsche Begründung für die Aussage	= B
richtig	falsch		= C
falsch	richtig		= D
falsch	falsch		= E

Beispiele

- | | | |
|--|------|--|
| 1 Isotope haben verschiedene Massenzahlen | weil | Isotope verschiedene Anzahlen von Neutronen haben. |
| 2 Kohlenstoff und Silicium bilden beide bei Raumtemperatur gasförmige Oxide | weil | beide Elemente in derselben Gruppe des Periodensystems stehen. |
| 3 Kupfer(II)-nitrat und Natriumnitrat liefern beide beim Erhitzen Stickstoffdioxid | weil | alle Nitrate Stickstoff enthalten. |
| 4 Reines Kohlenstoffmonoxid kann durch Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure auf Oxalsäurekristalle hergestellt werden | weil | konzentrierte Schwefelsäure ein Oxidationsmittel ist. |

In CLB-Memory sollen in Zukunft weitere programmierte Fragen „neuer Art“ vorgestellt werden. Wie immer werden auch Fragen aus dem Kreis der Leser veröffentlicht.

Was geschieht, wenn Wasser fault?

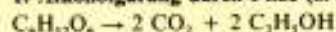
Eckhard Freuwört, Seesen

Wohl jedem Leser ist folgendes Phänomen schon einmal begegnet: Der Inhalt eines mit frischem Wasser gefüllten Behälters verwandelt sich unter geeigneten Bedingungen nach Ablauf einer gewissen Zeitspanne in eine trübe, gefärbte und übelriechende Flüssigkeit. Was bewirkt diese Umwandlung und welche chemischen Reaktionen laufen dabei ab? Wie können die Fäulnisprodukte einfach meßtechnisch erfaßt werden? Diese und ähnliche Fragen beantwortet der nachfolgende Beitrag, wobei einschränkend angemerkt werden muß, daß alle enzymatisch katalysierten Reaktionen aus Gründen der Übersichtlichkeit nur sehr stark vereinfacht dargestellt sind.

Blieben wir zunächst bei dem Gefäß mit frischem Wasser. Nach einiger Zeit siedeln sich in diesem Wasser Algen und andere Mikroorganismen an. Diese sind befähigt, auf dem Wege

der Photosynthese CO_2 (gelöst oder aus der Atmosphäre) und H_2O zu Glucose umzusetzen. Durch Polymerisation der Glucose entsteht Cellulose – das Zellmaterial der Mikroben. Solange zusätzliche, benötigte Nährstoffe (z. B. P, S, N usw.) zur Verfügung stehen, wachsen die Mikroorganismen und produzieren dabei Sauerstoff. Wird einer der benötigten Nährstoffe verbraucht, so kommt es zum Absterben von Mikroben und zu Abbauprozessen – an diesem Punkt beginnt die Fäulnis. Durch den Abbau der Cellulose zu CO_2 wird gelöster Sauerstoff verbraucht und H_2 gebildet (anaerobe Verhältnisse). Durch Sauerstoffzufuhr kann sich nun ein aerobes Gleichgewicht einstellen; andernfalls bleibt das Wasser anaerob – es „kippt um“. Die nun ablaufenden, enzymatisch katalysierten Reaktionen sind abhängig vom O_2 - und CO_2 -Gehalt sowie von der Temperatur. Es kommt zu Gährungs- und Reduktionsvorgängen:

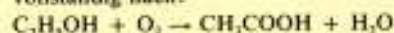
1. Alkoholgärung durch Pilze (z. B. *Saccharomyces cerevisiae*):



Diese Reaktion ist bekannt, es handelt sich um die bei der Weinherstellung stattfindende Gärung in Gegenwart von Pyruvat-Decarboxylase und Alkohol-Dehydrogenase. Die Hefepilze benötigen dafür Temperaturen zwischen 14 und 28 °C. Sie sterben ab, wenn der CO_2 -Gehalt zu hoch wird oder wenn der $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ -Anteil 16 Vol.-% überschreitet. Der O_2 -Gehalt des Wassers reguliert die Gärung.

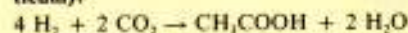
2. Essigsäurebildung durch Bakterien (z. B. *Acetobacter rancens*):

Unter Verwendung von Alkohol- und Polyol-Dehydrogenasen oxidieren Essigsäurebakterien das gebildete Ethanol unvollständig nach:



Durch Abspaltung eines H-Ions kann die Essigsäure als Wasserstoff-Donator dienen; dieser wird bei den später beschriebenen Reduktionsvorgängen noch benötigt. Ferner bildet die Essigsäure die Vorstufe zur Herstellung von Brenztraubensäure (Pyruvat), der eine Schlüsselstellung im Stoffwechsel zukommt. Es besteht allerdings noch eine weitere Möglichkeit zur Essigsäurebildung:

3. Carbonat-Reduktion durch Bakterien (z. B. *Clostridium acetium*):



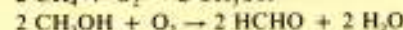
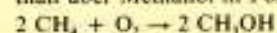
Hierbei erfolgt die Essigsäurebildung anaerob unter Verwendung von gelöstem CO_2 oder von aus Cellulose gebildetem CO_2 . Eine weitere Form der Carbonat-Reduktion bildet Methan (Biogas):



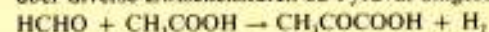
An dieser Reaktion sind die Enzyme Methyltransferase sowie Methylreductase beteiligt.

4. Pyruvat-Bildung durch Bakterien (z. B. *Methylophilus methylotrophus*):

Bei Zufuhr von O_2 sterben die methanbildenden Bakterien ab; das Bakterium *M. methylotrophus* überführt dann das Methan über Methanol in Formaldehyd:



Dieses Formaldehyd wird nun mittels Pyruvat-Synthase über diverse Zwischenstufen zu Pyruvat umgesetzt:



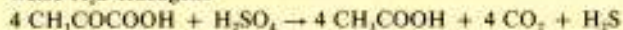
Die Brenztraubensäure dient dann im Stoffwechsel der Mikroben als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Aminosäu-

ren und Proteinen. Ferner kann Pyruvat als Wasserstoff-Donator weitere Reaktionen ermöglichen und schließlich wieder CO_2 freisetzen.

5. Pyruvat-Gärung durch Bakterien (z. B. *Desulfovibrio desulfuricans*):

Sulfurylasen und Kinasen ermöglichen die Umsetzung
 $\text{CH}_3\text{COCOOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + \text{H}_2$

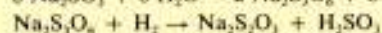
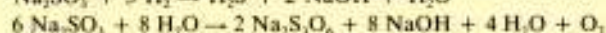
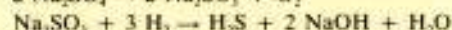
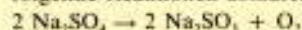
An dieser Reaktion sind Desulfurikanten beteiligt, die unter anaeroben Bedingungen in Gegenwart von Sulfaten normalerweise H_2S erzeugen:



Diese letzte Reaktion zeigt, daß sich die mikrobiologischen Abbauprozesse nicht ausschließlich auf organische Substanzen beschränken müssen. Auch Sulfate und Nitrate können zerlegt werden:

6. Sulfat-Reduktion durch Bakterien (z. B. *Desulfovibrio vulgaris*):

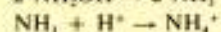
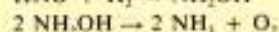
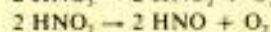
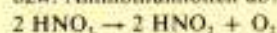
Enthält ein Wasser wenige organische Substanzen (z. B. kohlenstoffhaltige Produktionsabfälle oder zuviel Flockungshilfsmittel), dafür jedoch Sulfate, so wird die organische Fracht von sulfatreduzierenden Bakterien zur Zellbildung verinnahmt. Diese Desulfurikanten produzieren durch ihren Stoffwechsel unter Benutzung von Kinasen, Sulfurylasen und Reductasen sehr viel H_2S , ohne selbst nennenswert zu wachsen. Je nachdem, welche Bakterien vorhanden sind, können folgende Reaktionen ablaufen:



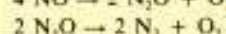
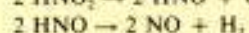
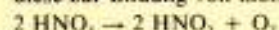
Diese Reaktionen liegen der bekannten Faulschlamm-Bildung zugrunde. Als Lieferant für den benötigten Wasserstoff kann u. a. die Essigsäure betrachtet werden. Ähnlich ist es bei der Umwandlung von Nitraten.

7. Nitrat-Reduktion durch Bakterien (z. B. *Paracoccus denitrificans*):

Mit Hilfe von Nitrat- und Nitrit-Reductasen bauen nitrat-assimilierende Bakterien Nitrate pH-abhängig zu Ammoniak bzw. Ammoniumionen ab:



In diesem Falle gehen die Stickstoffverbindungen der Lösung nicht verloren und können mikrobiologisch weiter genutzt werden. Anders ist dies im Falle der Denitrifikation, da diese zur Bildung von molekularem Stickstoff führt:



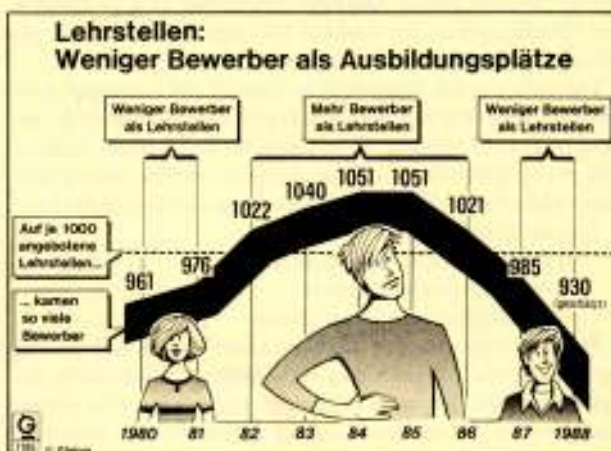
Alle bakteriell hervorgerufenen Abbauprozesse laufen bevorzugt im Temperaturbereich zwischen 20 und 40 °C ab, da es oberhalb von 20 °C zu einer massenhaften Vermehrung von Mikroorganismen kommt. Während Carbonat- und Sulfatreduktion sowie Pyruvat-Gärung an obligat (streng) anaerobe Bedingungen gebunden sind, laufen alle anderen Prozesse fakultativ anaerob ab, d. h., sie werden in Gegenwart geringer

O_2 -Mengen zwar behindert, jedoch nicht gestoppt. Da der O_2 -Sättigungswert in Wasser jedoch mit steigender Temperatur sehr stark abnimmt, können schnell anaerobe Verhältnisse erreicht sein.

(Wird fortgesetzt.)

Nachwuchsmangel in Sicht

Die Lage auf dem Lehrstellenmarkt bessert sich, aber sie ist noch nicht in allen Bereichen gut. Dieses Urteil läßt sich aus dem Berufsbildungsbericht 1988 der Bundesregierung ableiten. Die Lage bessert sich, weil es 1987 erstmals seit sechs Jahren weniger Bewerber als angebotene Lehrstellen gab und weil diese Entwicklung sich auch 1988 und in den darauffolgenden Jahren fortsetzen wird. Aber die Lage ist noch nicht gut, weil



die Entspannung sich noch längst nicht in allen Regionen und in allen Ausbildungsberufen bemerkbar macht. In Bayern oder Baden-Württemberg finden Lehrlinge leichter eine Stelle als im Norden der Bundesrepublik; der Andrang zu den Lieblingsberufen ist immer noch groß, während andere Ausbildungsberufe schon Nachwuchsmangel zu verzeichnen haben.

Berufsgrundbildungsjahr verliert an Bedeutung

Die Zahl der Jugendlichen, die nach Abschluß der allgemeinbildenden Schule ihr erstes Ausbildungsjahr im Berufsgrundbildungsjahr (BGJ) absolvieren, in dem berufliche Inhalte auf der Breite eines Berufsfeldes vermittelt werden, geht zurück. Mehr Jugendliche als in den Jahren zuvor haben den direkten Einstieg in ein berufliches Auszubildungsverhältnis gesucht - und auch gefunden. Dies belegen die vom Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) veröffentlichten Zahlen über die Teilnahme am BGJ 1986/87. Das BIBB führt jährlich eine bundesweite Erhebung über die Teilnehmerzahlen am BGJ durch.

1972 wurde das BGJ als erster einjähriger Abschnitt der Berufsausbildung eingerichtet, um die berufliche Spezialisierung auf die breite Kenntnis des gesamten gewählten Berufsfeldes zu stützen. Seit 1983/84, dem Jahr mit dem höchsten Stand von 103 572 Schülern im BGJ, ist die Quote 1986/87 um fast 20 % auf 83 853 Schüler zurückgegangen. Besonders das schulische BGJ ist von diesem Rückgang betroffen. Die kooperative, in Betrieb und Schule durchgeführte Form des BGJ hat gegenüber der sinkenden Tendenz der letzten zwei Jahre wieder eine leichte Zunahme der Schüler zu verzeichnen.



Die Bundessieger in Chemie während der Fachdiskussion mit der Jury am Vortrag der Prämierung: Jörg-Ulrich Stoellger, Martin Eigmüller und Robert Hintze (Berlin).



Die Bundessieger in Biologie vor ihrem Stand: Gerd Kracht und Matthias Meder (Schleswig-Holstein)

chemie vor. Man spürt unmittelbar, wie die erfolgreichen Jufos schon an „big science“ denken. Studierwünsche von Chemie, Biochemie, Biologie bis zu Medizin wurden in diesem Zusammenhang auch geäußert.

Natürlich konnte der Besucher beim Rundgang vor der Prämierung nur schwer über die anstehende Platzierung urteilen. Die Qualität der meisten Präsentationen machte es bestimmt auch den Juroren nicht leicht, sich auf die Rangfolge zu einigen. So wurden in der Chemie zwei ausgezeichnete Kinetik-Studien mit dem 2. und mit dem 3. Preis gewürdigt: Einmal Kinetik in selbstgebauter Stop-flow-Apparatur (2. Platz, C. Lenges und H. Bach) und einmal Kinetik direkt im selbstgebauten Photometer (3. Platz, M. Hülsemeyer und U. Blum). CLB wird in den nächsten Ausgaben manche der Gruppen selbst zu Wort kommen lassen.

Die Ehrung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer nahmen Dr. Heinz Riesenhuber, Bundesminister für Forschung und Technologie und diesjähriger Kuratoriumsvorsitzender der Stiftung Jugend forscht e.V., und Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans Dinger, Vorsitzender der Geschäftsführung der MTU-Gruppe, vor. Dr. Dinger ermunterte die jungen Leute zum weiteren Forschen: „Sie erfüllen damit eine Notwendigkeit, die aber nur im Gleichgewicht mit der Begrenzung der Nutzung sinnvoll ist.“ Bundesminister Dr. Riesenhuber rief auf zur 24. Runde „Jugend forscht“ und wünschte der neuen Bundespatenfirma Merck in Darmstadt und der Stiftung Jugend forscht „viele Teilnehmer, noch mehr Mädchen und viele Arbeiten mit dem wachen Gegenwarts- und Problembewußtsein wie in diesem Jahr“.

O. Serafimov

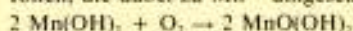
Was geschieht, wenn Wasser fault? Teil 2

Eckhard Freuwört, Seesen

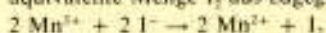
Welche chemischen Meßmethoden geben Hinweise auf Fäulnis bzw. Fäulnisprodukte? Die Antwort ist einfach: Neben der Bestimmung des gelösten Sauerstoffs sind es die Methoden zur Bestimmung der Oxidierbarkeit von Wasserinhaltsstoffen.

Sauerstoffbestimmung

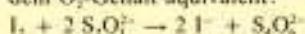
Zur Bestimmung des gelösten Sauerstoffs wird häufig die Titrationsmethode nach Winkler herangezogen. Hierbei erfolgt im alkalischen Milieu eine Fixierung des O_2 durch Mn^{2+} -Ionen, die dabei zu Mn^{4+} umgesetzt werden:



Nach Zugabe von Säure bilden sich dann im stark sauren Medium Mn^{3+} -Ionen, die ihrerseits eine dem zuvor fixierten O_2 äquivalente Menge I_2 aus zugegebener I^- -Lösung freisetzen:



Das Iod wird mit Natriumthiosulfat titriert und ist indirekt dem O_2 -Gehalt äquivalent:



Aus dem so bestimmten O_2 -Gehalt und der 100%igen O_2 -Sättigung des Wassers bei der vorliegenden Temperatur läßt sich nun die tatsächliche O_2 -Sättigung ermitteln. Diese gibt einen ersten Hinweis auf die vorliegenden Verhältnisse:

Richtwert Sauerstoffsättigung (%)	Hinweis auf Wasserzustand
100–70	aerob, stabil
70–50	aerob, instabil
50–25	anaerob, instabil
25– 0	anaerob, stabil

Die Angabe „instabil“ kennzeichnet dabei den Übergangsbereich zwischen aerobem und anaeroben Zustand. Zu berücksichtigen ist allerdings, daß im Falle von unbewegtem Wasser eine Schichtung auftritt, wobei die oberflächennahe Schicht meist aerob und die bodennahe Schicht meist anaerob ist.

BSB-Bestimmung

Enthält ein Wasser unvollständig oxidierte Verbindungen (organisch und anorganisch), so verbraucht sich der gelöste Sauerstoff durch mikrobiologische Prozesse (Fäulnisneigung). Bei der BSB-Bestimmung wird diese Sauerstoffzehrung als Maß verwendet (BSB = Biochemischer Sauerstoffbedarf, engl. BOD = Biochemical Oxygen Demand). Die Bestimmung des gelösten O_2 erfolgt wiederum nach Winkler. Zunächst wird der O_2 -Gehalt unmittelbar nach Probenahme ermittelt. Parallel dazu läßt man Proben für eine bestimmte Zehrdauer (BSB₅ = 5 Tage, BSB₂₀ = 20 Tage) unter Licht- und Luftabschluß stehen und bestimmt auch in diesen dann den O_2 -Gehalt. Die Differenzen zur sofort gemessenen Probe bilden den BSB-Wert. Dabei wird davon ausgegangen, daß nach 5 Tagen ca. 70 % und nach 20 Tagen nahezu 100 % der abbaubaren Stoffe in häuslichen Abwässern umgesetzt sind; man bezeichnet vereinzelt den binnen 5 Tagen abbaubaren Anteil auch als leicht und den zwischen dem 5. und dem 20. Tag abbaubaren Anteil als schwer abbaubar. Da in einem Wasser allerdings durchaus Nährsalzmangel bzw. bakterizid wirkende Substanzen oder nicht mikrobiologisch abbaubare

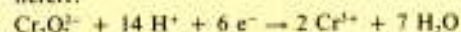
Stoffe vorkommen können, bedeutet ein geringer BSB-Wert nicht zwangsläufig auch unbelastetes Wasser – vielmehr wird der BSB als ergänzendes Kriterium zur Beurteilung von wasserbelastenden Stoffen verwendet. Hierzu einige Beispiele:

<i>Richtwert</i>	<i>Hinweis auf</i>
<i>BSB₅ (mg O₂/l)</i>	<i>Wasserzustand</i>
< 2	unbelastet
2– 4	gering bis mäßig belastet
4– 7	kritisch belastet
7–20	stark verschmutzt
> 20	sehr stark verschmutzt

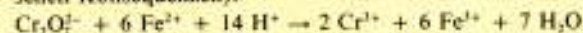
Als weitere Kriterien zur Beurteilung der Wasserbelastung finden die Methoden zur chemischen Oxidation der Wasserinhaltsstoffe (CSB_{Cr}, CSB_{Mn}, TOC, DOC) Verwendung.

CSB_{Cr}-Bestimmung

Bei der CSB_{Cr}-Bestimmung (CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf, länderspezifisch CSV = Chemischer Sauerstoffverbrauch, engl. COD = Chemical Oxygen Demand) wird Kaliumdichromat in stark saurer Lösung als Oxidationsmittel eingesetzt, wobei das K₂Cr₂O₇ den zur chemischen Oxidation von 95 bis 97 % der organischen Stoffe benötigten Sauerstoff liefert:



Abhängig von Temperatur, pH-Wert und Reaktionszeit erfolgt die Oxidation unter Dichromatverbrauch in Gegenwart eines Dichromat-Überschusses. Zur Auswertung kann nun zum einen die Rücktitration des verbleibenden K₂Cr₂O₇ mit Eisen(II)-Lösung gegen Ferroin als Redoxindikator durchgeführt werden (Schiedsmethode bei finanziellen oder juristischen Konsequenzen):



Zum anderen erfolgt bei Routineanalysen eine photometrische Auswertung (Feldmethoden, handelsübliche CSB-Bestimmungen). Für CSB-Werte < 150 mg/l wird dabei die Abnahme der gelb-orangen Färbung des K₂Cr₂O₇ und für CSB-Werte > 150 mg/l die Zunahme der grünen, durch Cr³⁺ verursachten Färbung bestimmt.

Aufgrund des hohen Erfassungsgrades für organische Stoffe wird der CSB_{Cr} häufig mit dem Gesamtgehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff (TOC) gleichgesetzt. Vereinzelt findet man für die Differenz aus CSB_{Cr} und BSB₂₀ dann die Bezeichnung „nicht biologisch abbaubarer Anteil“. Neben den organischen Substanzen miterfaßt werden jedoch auch Cl⁻, Fe²⁺, unvollständig oxidierte N-Verbindungen und S mit Oxidationszahlen < +6. Reduzierte N-Verbindungen sowie Benzol und Pyridin sind teilweise erfäßbar. Hier einige Richtwerte:

<i>Richtwert</i>	<i>Hinweis auf</i>
<i>CSB (mg/l)</i>	<i>Wasserzustand</i>
< 4	keine bis geringe Belastung
4– 18	mäßige bis kritische Belastung
18– 65	stark verschmutzt
65–200	sehr stark verschmutzt
> 200	übermäßig verschmutzt

Speziell bei Abwasser stellt der CSB_{Cr} den größten Kostenfaktor dar, da sich die Abwasserabgabekosten nach den aus dem CSB_{Cr} resultierenden Schadeinheiten SE richten. Dies berechnet sich wie folgt:

$$\text{CSB in kg/m}^3 = \frac{\text{CSB in mg/l}}{1000}$$

$$\text{Jahresmenge CSB in kg} = \text{CSB in kg/m}^3 \cdot \text{Jahresabwasser- menge in m}^3$$

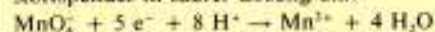
$$\text{Anzahl der SE} = \frac{\text{Jahresmenge CSB in kg}}{100} \cdot 2,2$$

$$\text{Abwasserabgabe} = \text{Anzahl der SE} \cdot \text{Kosten in DM/SE.}$$

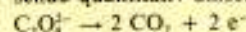
Eine weitere Methode zur Bestimmung des Verschmutzungsgrades von Wasser besteht in der Ermittlung des KMnO₄-Verbrauchs (CSB_{Mn}).

CSB_{Mn}-Bestimmung

Das bei dieser älteren Methode zur Bestimmung der Oxidierbarkeit gegenüber der CSB_{Cr}-Bestimmung niedrigere Redoxpotential reicht nicht zur vollständigen Oxidation der Wasserinhaltsstoffe aus, so daß die CSB_{Mn}-Bestimmung (Permanganatverbrauch) nur ca. 20 bis 25 % der organischen Stoffe erfäßt. Nicht erfäßt werden Ketone, Alkohole, Essigsäure, Benzoesäure, Phthalsäure, viele Aminosäuren und niedere Fettsäuren. Cl⁻-Konzentrationen > 300 mg/l im sauren Milieu (kann im Alkalischen durch Kochen entfernt werden) und H₂S, S²⁻, NO₂ sowie Fe²⁺ im alkalischen Medium (ist im Sauren durch Kochen zu entfernen) werden miterfaßt. Auf Grund der niedrigen Erfassungsrate wird die CSB_{Mn}-Bestimmung heute in erster Linie für kaum oder schwach belastete Wasserproben verwendet. Durch einen Oxidationsvorgang setzen sich die oxidierbaren Wasserinhaltsstoffe mit KMnO₄ als Sauerstoffspender in saurer Lösung um:



Für diese Reaktion ist KMnO₄ im Überschuß vorhanden. Nun wird eine dem KMnO₄ äquivalente Menge Oxalsäure zugegeben, welche sich durch den noch verbleibenden KMnO₄-Überschuß quantitativ umsetzt:



Bestehen bleibt jetzt ein Oxalsäureüberschuß, welcher wiederum mit einer der Verschmutzung proportionalen KMnO₄-Lösung zurücktitrierbar ist:



Grundsätzlich weist ein hoher KMnO₄-Verbrauch auf organische Verunreinigungen hin, wobei dies nicht heißt, daß solches Wasser immer hygienisch bedenklich ist – z.B. beträgt der KMnO₄-Verbrauch bei Moorgewässer 80 bis 350 mg/l und wird durch Huminstoffe als natürliche Verunreinigung verursacht. Für anderes Wasser kann der CSB_{Mn} jedoch als Hinweis auf belastende Substanzen verwendet werden:

<i>Richtwert CSB_{Mn}</i>	<i>Hinweis auf</i>
<i>(mg KMnO₄/l)</i>	<i>Wasserzustand</i>
< 20	keine bis geringe Verschmutzung
20– 60	leichte bis mäßige Verschmutzung
60–100	starke Verschmutzung
100–250	sehr starke Verschmutzung
> 250	übermäßige Verschmutzung

Ogleich die CSB_{Mn}-Bestimmung heute durch die käuflichen photometrischen CSB_{Cr}-Bestimmungssätze in der betrieblichen Praxis vielfach verdrängt worden ist, werden die oben geschilderten Reaktionen in ähnlicher Form großtech-

nisch zum Klären von Wasser bei der Nutztierhaltung noch weiterverwendet. Da weder CSB_{Mn} noch CSB_{Cr} den TSB-Wert ($TSB = \text{totaler Sauerstoffbedarf} = CSB$ bei 100%iger Oxidation) widerspiegeln, sind oxidativ noch TOC bzw. DOC bestimmbar.

TOC- und DOC-Bestimmung

Die Bestimmungen von TOC (TOC = Total Organic Carbon) und DOC (DOC = Dissolved Organic Carbon) verwendet man, wenn 100% des organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC) bzw. des gelösten organisch gebundenen Kohlenstoffs (DOC) oxidiert werden sollen. Die Oxidation erfolgt thermisch durch Verbrennung (TOC) oder naßchemisch nach Filtration mittels starken Oxidationsmitteln unter UV-Bestrahlung (DOC), so daß sich schließlich CO_2 bildet. Dieses wird dann mit gängigen Methoden (IR-Spektrometrie, Konduktometrie, WLD, CO_2 -selektive Elektroden bzw. nach Reduktion des CO_2 zu Methan mittels FID) quantitativ bestimmt. Da eine Wasserprobe auch Kohlenstoff in anorganischer Form (engl. TIC = Total Inorganic Carbon) als C-Suspension, gelöstes CO_2 , HCO_3^- oder CO_3^{2-} enthalten kann, muß dieser aus der angesäuerten Probe durch Austreiben entfernt werden. Andernfalls werden der gesamte Kohlenstoff (engl. TC = Total Carbon) sowie der TIC getrennt ermittelt und die Differenz beider Werte bildet den TOC. Je nach verwendetem Detektor ist es möglich, N-, S-, Cl- und Fe-haltige Verbindungen bei Bedarf durch die oben dargestellten oxidativen Prozesse ebenfalls zu erfassen.

An Hand von Sauerstoffsättigung, Sauerstoffzehrung und oxidierbaren Wasserinhaltsstoffen läßt sich nun die Gewässergüte in 7 Klassen einteilen (Tab. 1).

Güteklasse	O_2 -Sättigung (%)	BSB ₅ (mg/l)	CSB_{Mn} (mg/l)	CSB_{Cr} (mg/l)	Charakterisierung des Wassers
1	100	2	6	2	unbelastet
1-2	85-100	4	6	4	gering belastet
2	70-85	3-4	11-15	8-9	mäßig belastet
2-3	50-70	4-7	26-35	11-18	kritisch belastet
3	25-50	20	30-150	20-65	stark verschmutzt
3-4	10-25	40-120	150-390	80-200	sehr stark verschmutzt
4	< 10	> 120	> 390	> 200	übermäßig verschmutzt

Tabelle 1

Leider verfügen die geschilderten chemischen Meßmethoden über den Nachteil, daß keine Langzeitaussage über die Gewässergüte möglich ist. Da jede Messung nur einen Momentanwert liefert, ist eine längerfristige Gewässergütekontrolle häufig notwendig. Diese kann neben den chemischen Meßmethoden auch durch makroskopisch-biologische Feldmethoden erfolgen. Dabei nutzt man die in dem Wasser lebenden Organismen wie z. B. Insektenlarven, Schnecken, Würmer sowie Bakterien und Pilze als Indikatoren für die langfristige Belastung ihres Lebensraumes und gelangt damit zum Saprobien-system. Das Saprobien-system teilt die Süßwasserorganismen nach ihrer unterschiedlichen Anpassungsfähigkeit an Verunreinigungen ihres Wohngewässers, speziell an O_2 -Mangel und organische Wasserinhaltsstoffe, ein. Es entspricht den in Tab. 2 aufgeführten Gewässergüteklassen.

Güteklasse	Saprobien-Index nach der Artenliste von Dr. Meyer	Saprobität (Saprobienstufe)
1	1,0- < 1,5	oligosaprobe Stufe
1-2	1,5- < 1,8	oligosaprobe Stufe mit Tendenz zur Betamesosaprobie
2	1,8- < 2,3	betamesosaprobe Stufe
2-3	2,3- < 2,7	alpha-betamesosaprobe Grenzstufe
3	2,7- < 3,2	alphamesosaprobe Stufe
3-4	3,2- < 3,5	polysaprobe Stufe mit Tendenz zur Alphamesosaprobie
4	3,5- < 4,0	polysaprobe Stufe

Tabelle 2

Den Saprobienindex ermittelt man durch Auszählen der an 10 etwa handgroßen Steinen haftenden sowie in ca. 7,5 l Wasser und Pflanzen der Krautzone und der gleichen Menge Bodengrund vorhandenen Bio-Indikatoren. Diese Wasserlebewesen können als Art, Gattung oder Familie vorkommen, wobei jedem Indikator ein bestimmter Saprobienindex zugeordnet ist. Der Saprobienindex des Gewässers berechnet sich dann nach:

Häufigkeit Bio-Indikator · Saprobienindex dieses Indikators
 = Einzelsumme
 Einzelsumme Indikator A + Einzelsumme Indikator B + ...
 = Gesamtsumme
 Häufigkeit Indikator A + Häufigkeit Indikator B + ...
 = Gesamthäufigkeit
 Gesamtsumme: Gesamthäufigkeit = Saprobienindex des Gewässers

Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode findet sich in *Detlef Meyer: Makroskopisch-biologische Feldmethoden zur Wassergütebeurteilung von Fließgewässern* (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Hannover). Als weitere Literaturhinweise seien interessierten Lesern folgende Werke empfohlen:

Hans G. Schlegel: Allgemeine Mikrobiologie (G. Thieme Verlag, Stuttgart); dort werden Mikroorganismen und die von ihnen verursachten Reaktionen ausführlich beschrieben.

Leonhard A. Hütter: Wasser und Wasseruntersuchung (Diesterweg/Salle/Sauerländer); dieses Buch enthält eine umfassende und detaillierte Einführung in die Wasseranalytik.

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DEV, DIN 38409, Verlag Chemie, Weinheim); hier wird eine detaillierte Sammlung der einschlägigen Arbeitsvorschriften geboten.

CLB-BASIC-Kurs, Teil 9a

Dipl.-Ing. H. J. Wronski, Rheinberg

Lösungsvorschläge zur Übung 8

1. Sortieren von Zahlen

Beschäftigen wir uns zunächst mit dem Vertauschen zweier Variablenwerte. Die Inhalte der Variablen A und B sollen ausgetauscht werden. Das Verfahren