

FORSCHUNGSBERICHT

Themenwoche Klasse 2B Gymnasium Oberwil BL
Lago di Cadagno 19.6.10 - 25.6.10



PHYSIKALISCHE PARAMETER

Einführung

Der Lago di Cadagno ist wegen seiner andauernden Schichtung, der Meromixis, mit einer sauerstoffhaltigen oberen Wasserschicht (Mixolimnion) und einer sauerstofffreien unteren Wasserschicht (Monimolimnion) sehr interessant zu untersuchen. Um diese speziellen Eigenschaften des Sees zu erfassen, führten wir Messungen physikalischer am See durch. Gemessen wurde von einem Floss aus, an der tiefsten Stelle des Sees. Mit Hilfe von vier Boyen wurde das Floss so befestigt, dass es sich gegenüber dem Grund nicht verschieben konnte. Diese Befestigung war eine Voraussetzung, dass die Messungen sowohl untereinander als auch mit vorherigen oder folgenden Erhebungen verglichen werden können.

Uhrzeit, Datum, allgemeine Wetterverhältnisse, Windrichtung und Aussen-temperatur wurden notiert, da diese Faktoren auf die zu messenden Größen direkt oder indirekt Einfluss nehmen können. Die Seetiefe wurde durch Absenken eines Steins gemessen. Dieser Wert wurde mit der Umdrehungszahl der geeichten Winde auf dem Floss verglichen. Die Sichttiefe des Sees wurde mit einer weiss gefärbten Scheibe von 30 cm Durchmesser, einer sog. Secchi-Scheibe, bestimmt. Weitere physikalische Parameter wurden mit einer Multisonde vom Typ *YSI Multiparamter Water Sonde 6820.V2* erhoben. Folgende Parameter wurden in Abhängigkeit der Mess-tiefe erfasst:

- Temperatur
- Leitfähigkeit
- Sauerstoffsättigung in %
- Sauerstoff in mg/L
- pH-Wert
- Oxidationsreduktionspotential(ORP)
- Salzgehalt
- Trübung

Die Messresultate wurden in Abhängigkeit zur Tiefe in einem Graphen dargestellt. Zudem mussten wir uns überlegen welche Messwerte zusammenhängen und fügten diese dementsprechend in gleiche Abbildungen.

Die Graphen wurden anschliessend analysiert, interpretiert. Dabei versuchten wir, auffallende Diskontinuitäten der physikalischen Parameter biologisch zu erklären. Als wichtige Voraussetzung zur Interpretation der Ergebnisse erwies sich die theoretische Auseinandersetzung mit den Kon-ditionen eines Sees in Abhängigkeit der Jahreszeit. Unsere Hypothesen verglichen wir mit den chemischen Analysen von Wasserproben aus ver-schiedenen Tiefen des Sees. Dies erlaubte uns eine Zuordnung der eige-nen Messwerte zu den drei Schichten, dem Mixolimnion, der Chemokline, oder dem Monimolimnion. Auch der Vergleich mit den von einer anderen Gruppe erhobenen Dichten an Bakterien im Wasser zeigte eine gute Über-einstimmung zwischen theoretischen Annahmen und den von uns gefun-den Messwerten.

Methoden und Resultate¹

Bedingungen am Messtag

Datum: 20.6.2010
Uhrzeit: 14 : 30
Wetter: Schneefall, Windrichtung Nord ca: 3 BF

Bestimmung der Seetiefe

Auf dem Floss überprüften wir, um wie viele cm sich der Stein pro Teilstrich an der Kurbel der Seilwinde senkt. Danach hängten wir einen Stein an die Winde und liessen diesen bis auf den Grund sinken. Anhand der Umdrehungszahl der Kurbel konnte die Tiefe des Steines ablesen werden:

Tiefe pro Teilstrich an der Winde: 0.1 m
Seetiefe: 21.3 m

Bestimmung der Sichttiefe

Danach befestigten wir die Sichtscheibe (Secchischeibe) an einem Haken und liessen sie so tief tauchen, bis sie von oben grad nicht mehr sichtbar war. Anhand der Umdrehungszahl der Kurbel konnte die Tiefe der Sichtscheibe abgelesen werden. Die Sichttiefe beträgt das Doppelte dieses Wertes, weil das Licht den Weg zur Scheibe und von da wieder zurück zum Betrachter zurücklegen muss.

Tiefe der Scheibe : 4.3 m
Sichttiefe: 8.6 m



Abb. ph-1 Cadagno, Sonntag, 20.6.2010, 13:30, leichter Schneefall, 2° C

¹ Resultate und Diskussion wurden teilweise redigiert. 8.8.2010, KS

Messwerte physikalischer Parameter

Tiefe (m)	Temp. [°C]	O2 Sättigung [%]	O2 in [mg/L]	pH
0	8.91	155.7	18.03	8.03
1	8.93	160.6	18.6	8.06
2	8.94	165.5	19.18	8.08
3	8.94	168.4	19.57	8.08
4	8.94	170.6	17.74	8.09
5	8.66	170.7	19.86	8.04
6	7.97	166.1	19.75	7.94
7	7.33	156	18.5	7.8
8	5.7	173.8	18	7.7
9	3.84	62	7.05	7.5
9.6	3.71	1.8	0.23	7.03
9.8	3.71	1.8	0.22	7
10	3.6	24.9	3.5	7.16
10.2	3.63	1.6	0.21	7
10.4	3.63	1.5	0.2	7
10.6	3.58	1.4	0.19	7
11	3.5	10.9	1.39	7.04
12	3.43	5.8	0.8	7
13	3.4	4	0.5	7
14	3.36	3.6	0.47	7
15	3.34	2.9	0.38	7
16	3.32	2.9	0.39	7
20	3.31	2.3	0.3	7

Tiefe (m)	ORP [mV]	Salzgehalt [g/L]	Trübung	Leitfähigkeit [/]
0	123.5	0.07	3.9	0.144
1	123.2	0.07	2.6	0.145
2	122	0.07	2.5	0.144
3	122.7	0.07	0.7	0.144
4	120.1	0.07	0.7	0.144
5	123	0.07	0.7	0.15
6	128.8	0.08	1.1	0.168
7	136.8	0.09	1.1	0.187
8	137	0.11	1.4	0.228
9	177.5	0.13	2.6	0.282
9.6	-210	0.14	10	0.3
9.8	-204	0.14	12.5	0.3
10	-130	0.15	9.5	0.308
10.2	-202	0.15	20.3	0.305
10.4	-205	0.15	11.5	0.307
10.6	-212	0.15	8.05	0.315
11	-171	0.16	5.9	0.329
12	-186	0.16	5.7	0.342
13	-200	0.17	4.6	0.347
14	-210	0.17	4.5	0.353
15	-217	0.17	4.5	0.363
16	-223	0.17	4.4	0.366
20	-230	0.18	4.2	0.378

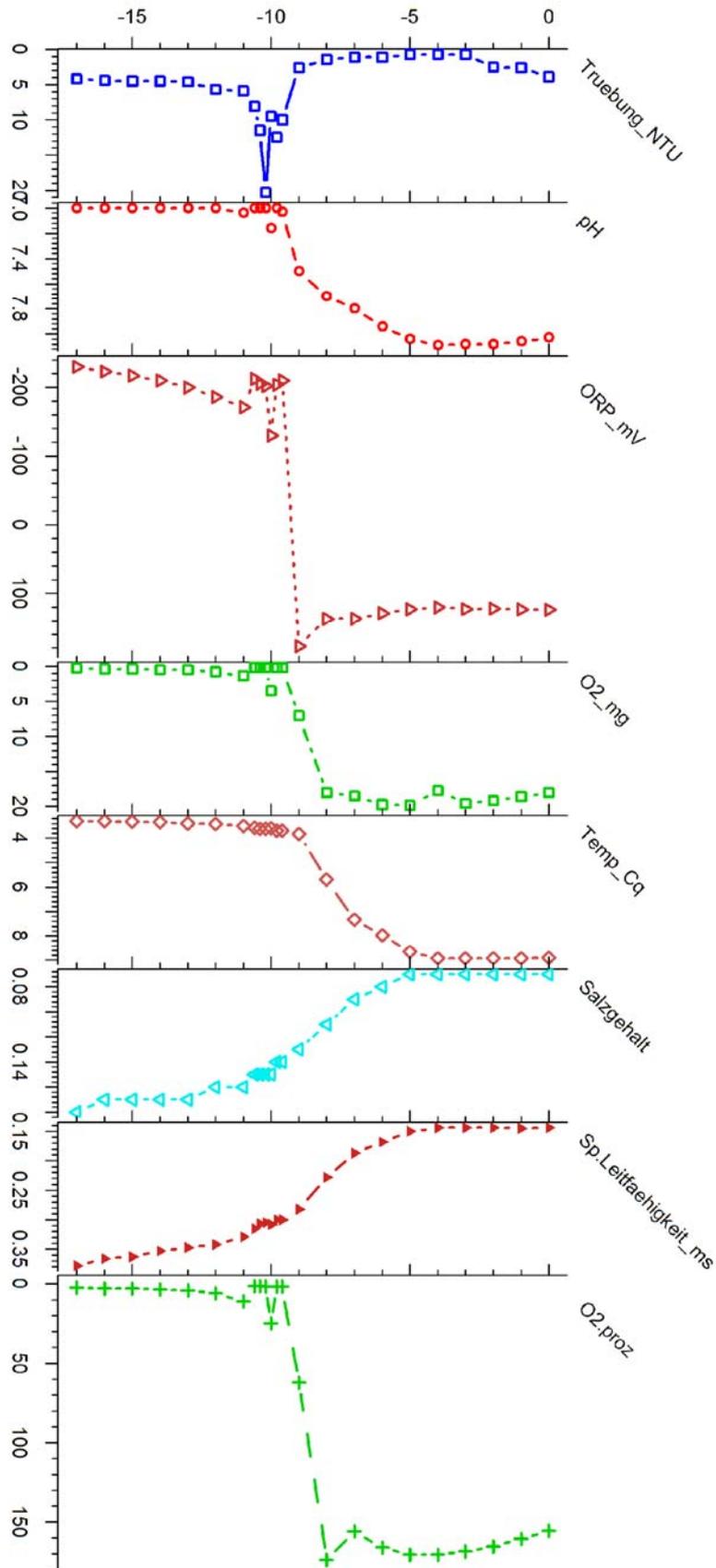


Abb. ph-2 Graphische Darstellung der physikalischen Parameter, welche am 20. Juni 2010 von der Gruppe 2 erhoben wurden

Diskussion physikalischer Messwerte

Zur Sichttiefe: Die Sichttiefe hängt von der Algendichte, ungelösten Mineralien und der beeinflussenden Wetterkonditionen. Die Sichttiefe korrespondiert vor allem mit der Tiefe der Algenschicht. Diese sinkt während der Nacht ab, da keine der zur Fotosynthese benötigende Sonnenstrahlung vorhanden ist. Während dem Tag geschieht der umgekehrte Vorgang, die Algen steigen auf. Weil der Himmel am Messtag bewölkt war, konnte vermutet werden, dass die Algen relativ tief lag.

Zur Chemokline: Mit der Tiefe nimmt die Trübung zu. Zwischen 9 und 10 Metern wurde ein Maximum festgestellt (Abb. ph-2). Ebenfalls in dieser Tiefe findet sich ein abrupter Abfall des pH. Daraus leiten wir ab, dass in dieser Tiefe eine grosse Zahl von Organismen das Licht trüben und durch ihre Stoffwechselaktivität den pH senken. Vermutlich handelt es sich um photolithoautotrophe Bakterien, welche den vom Seegrund aufsteigenden Schwefelwasserstoff (H_2S) zu Schwefel (S) und / oder Sulfat (SO_4^{2-}) und Wasserstoff-Ionen (H^+) umsetzen. Diese Prozesse sind für Fische lebensbedrohlich: Im Winter steigt SO_4 -Grenze auf, weil unter der Schnee und Eisdecke zuwenig Licht vorhanden ist für die Photosynthese und deshalb das Sulfat nicht verbraucht wird. Weil gleichzeitig der See von oben nach unten zufriert, laufen die Fische Gefahr einzufrieren oder zu ersticken (aufgrund O_2 Mangel ($\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_4$)).

Auch der Verlauf der Kurven für Sauerstoff (in g/ml) und für das Oxidations-Reduktions-Potential (ORP) weisen auf die Lage der Chemokline zwischen 9 und 10 m hin (Abb. ph-2). Aufsteigender Schwefelwasserstoff wird in der Chemokline von freiem Sauerstoff im Wasser zu Sulfat oxidiert: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$. Dadurch sinkt der Sauerstoffgehalt im Wasser und in der Folge wirkt das Medium, das Wasser, nicht mehr oxidierend, sondern reduzierend: das ORP wird negativ.

Zur Temperatur: Die während der Messungen vorgefundene Temperaturverteilung folgt teilweise den in der Theorie eingeführten drei Schichten, dem Mixolimnion, der Chemokline und dem Monimolimnion. Im oberen Mixolimnion, von 0 bis 4 m Tiefe blieb die Temperatur nahezu konstant (Abb. ph-2). Ab einer Tiefe von 5 m nahm die Temperatur zuerst langsam ab 8 m rasch ab. Damit liegt die Thermokline oberhalb der Chemokline. Am oberen Ende der Chemokline, bei 9 m Tiefe, fiel die Temperatur bereits unter 4°C . Die starke Abkühlung des Wassers auf bis zu 3.3°C überrascht, wenn man davon ausgeht, dass bei 4°C Wasser die maximale Dichte aufweist. Die Abweichung kann möglicherweise mit dem hohen Salzgehalt des Wassers erklärt werden.

Zur Sauerstoffsättigung: Die Löslichkeit von Sauerstoff im Wasser ist von der Temperatur abhängig. Werte die über der bei einer bestimmten Temperatur löslichen Menge liegen werden als Übersättigung mit $>100\%$ angegeben. Sauerstoffübersättigung ist kein stabiler Zustand und deutet auf

die Produktion von Sauerstoff hin – im See also auf die photosynthetische Aktivität sauerstoffproduzierender Algen.

Die grösste Fotoyntheseaktivität lag am 20. Juni 2010 aufgrund der vorgefundenen Sauerstoffverteilung vermutlich in 5 m Tiefe (Abb. ph-2). Theoretisch ist die Lichtintensität weiter oben höher, doch wirken dort mehrere Faktoren einer Sauerstoffübersättigung entgegen. Einerseits führte der herrschende Wellengang zu einer Ausgasung von allfällig überschüssigem Sauerstoff. Weiter meiden Algen die Wellenturbulenz und halten sich unterhalb dieser Störungszone auf. Ferner könnte die Lichtintensität knapp unterhalb der Wasseroberfläche zu gross sein und die Algen könnten diesem Stress ebenfalls durch abtauchen ausweichen.

Zum Salzgehalt: Bis in eine Tiefe von 5m bleibe der Salzgehalt konstant. Danach stieg der Wert rasch an und stabilisierte sich in einer Tiefe von 12 m bei etwas mehr als dem doppelten Ausgangswert (Abb. ph-2). Die Werte von Salzgehalt und Leitfähigkeit korrelieren, was darauf beruht, dass sich die Leitfähigkeit von Wasser für elektrischen Strom mit zunehmender Anzahl gelöster (Salz-) Ionen erhöht.

Oberflächlich rinnt salzarmes Wasser in den See, unterirdisch strömt salzhaltiges Wasser ein. Im Mixolimnion wird zudem ein Teil der im Wasser vorhandenen Ionen in der Fotosynthese verbraucht. Weil sich Mixolimnion und Monimolimnion nicht mischen, bleiben die unterschiedlichen Salzgehalte stabil: meromiktischer Zustand des Lago di Cadagno.

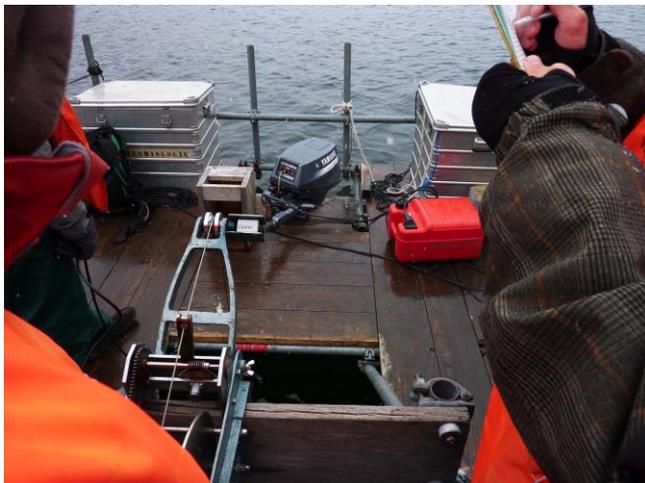


Abb. ph-3 u 4 Probenahme vom Floss aus auf dem Lago di Cadagno. Am 21.6.2010 war das Wasser der „Schicht“ deutlich rosa gefärbt (Bild rechts).



M E S S U N G C H E M I S C H E R P A R A M E T E R

Gewässer, welche nicht durch zivilisatorische Einflüsse verunreinigt wurden, enthalten bis zu 10 mg/L Nitrat, Spuren von Nitrit, Ammonium und Phosphat. Letzteres kann in drei verschiedenen Fraktionen auftreten, organisches Phosphat in partikulärer Form, organisches Phosphat in gelöster Form und anorganisches Phosphat. Das Phosphat kommt aus dem mikrobiellen Abbau organischer Substanzen, Düngemitteln, Fäkalien oder Detergentien. Nitrat kommt ebenfalls von Düngung, Niederschlägen oder mikrobiellem Abbau organischer Substanzen. Gewässer in der Umgebung von landwirtschaftlich genutzten Gebieten mit Düngeranwendung haben deshalb oft einen erhöhten Nitrat- und Phosphatgehalt.

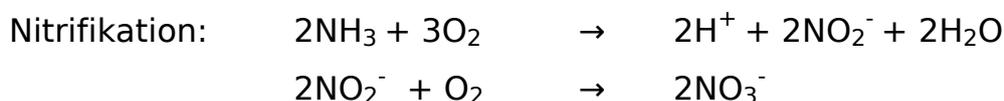
S t i c k s t o f f k r e i s l a u f

Stickstoff kann von Lebewesen nicht in molekularer Form (N₂), sondern nur als Verbindung aufgenommen werden. Pflanzen oder Algen können Stickstoff am besten als Nitrat (NO₃⁻) aufnehmen. Natürlicherweise gelangt Stickstoff auf drei verschiedenen Wege in ein Ökosystem, stammt aber ursprünglich immer aus dem Luftstickstoff (Abb. ch-1):

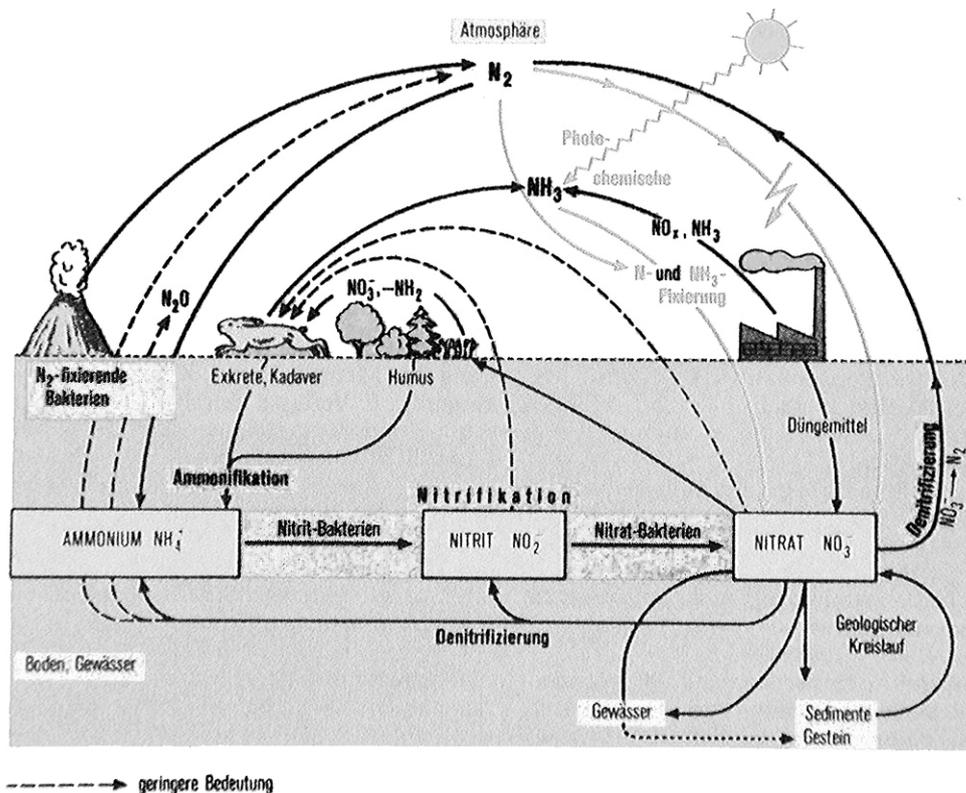
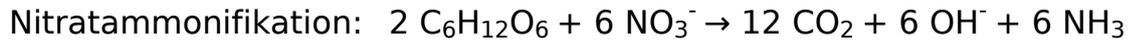
- 1) Bei der photochemischen Umwandlung wird Luftstickstoff durch energiereiche Höhenstrahlung zu NH₃ und NO_x umgewandelt. Die Umwandlung liefert etwa 35 mg m⁻²a⁻¹
- 2) Die Stickstoffoxidierung erfolgt durch Cyanobakterien (auch Blaualgen genannt) und Bakterien und liefert je nach Bedingung ca. 140 mg m⁻²a⁻¹
- 3) Die Rückführung von Stickstoffverbindungen durch Destruenten aus dem Abbau biologischen Abfalls ist ökologisch besonders wichtig, weil photochemische Umwandlung und Stickstoffoxidierung nur 6,7% Stickstoff pro Jahr liefern

L u f t s t i c k s t o f f o x i d i e r u n g

In der Landwirtschaft wird mit der Ernte dem Ökosystem Acker Stickstoff entzogen. Dieser Verlust muss durch Stickstoffdüngung wieder zugeführt werden, denn ein Mangel an Stickstoff würde das Wachstum der Pflanzen begrenzen. Die von Pflanzen bevorzugte Stickstoffverbindung ist Nitrat, NO₃⁻, so kann ein Dünger z.B. KNO₃ enthalten. In einem natürlichen Ökosystem werden organische Moleküle wie Aminosäuren, Ammoniak und Nitrit von Bakterien wie z.B. *Nitrosomonas sp* zu Nitrat oxidiert. Voraussetzung dazu ist ein Überschuss an Sauerstoff in der Umwelt, wie es z.B. im oberen Teil des Lago di Cadagno der Fall ist. Die Nitrifikation verläuft typischerweise in zwei Schritten:



Wenn nur wenig Sauerstoff vorhanden ist, wie zum Beispiel in nährstoffarmen Gewässern oder im Sediment von Seen, können einige Bakterienarten den für die Dissimilation benötigten Sauerstoff aus NO_3^- Ionen gewinnen. Diese Nitratreduktion verläuft in zwei Teilschritten zuerst über Nitrit bis zum Ammonium (**Nitratammonifikation**) und dann von Ammonium (NH_4^+) über Lachgas (N_2O) und elementaren Stickstoff (N_2) (**Denitrifikation**). Da N_2 und N_2O stabile Verbindungen sind, kann der Stickstoff nicht von den Lebewesen verwendet werden.



² Ref: Hanselmann K., 1992. Vorlesungsnotizen

Methode

Um den Nitratgehalt in einer Lösung zu messen, verwendet man die Methode der Fotospektrometrie. Eine Lichtquelle strahlt Licht aus, dieses trifft auf ein Prisma, welches Licht in allen Regenbogenfarben ausstrahlt. Nun kann man einen Lichtstrahl mit einer bestimmten Wellenlänge durch die Lösung strahlen. Danach trifft ein Teil des Lichtes auf einen Detektor, der dann misst, wie viel des Lichtes durch die Lösung kommt. Wenn 100% des Lichtes auf den Detektor trifft, ist die Extinktion 0, bei 10% beträgt die Extinktion 1, bei 1% ist die Extinktion 2 und bei 0.1% ist die Extinktion 3. Die Extinktion ist proportional zur Konzentration. Absorbiert eine Lösung eine bestimmte Farbe, so erscheint die Lösung für das Auge in der Komplementärfarbe.

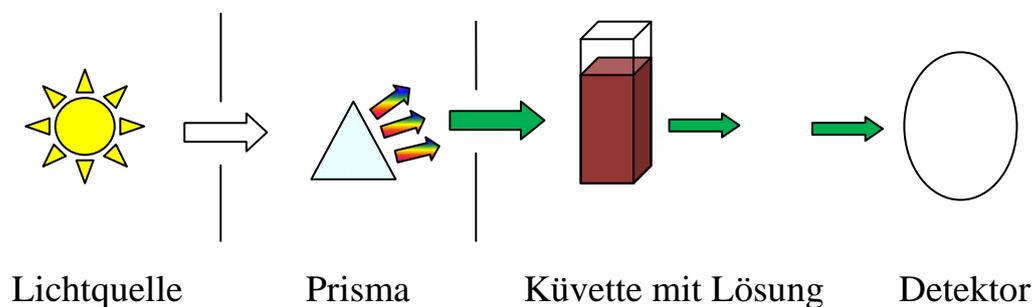


Abb. ch-2: Funktionsprinzip des Fotospektrometers

Durchführung / Resultate / Diskussion

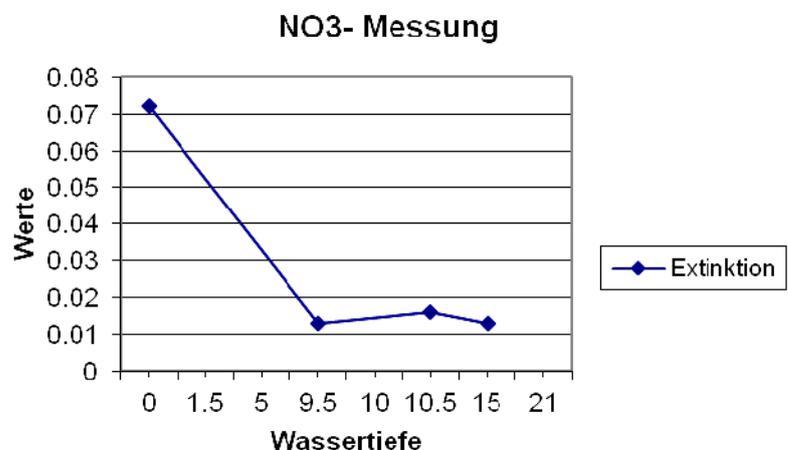


Abb. ch-3: Das Labor im Stabile A auf Cadagno mit Isabel, Anja und Anna („falsche Gruppe, gleiches Labor“)

Nitratmessung

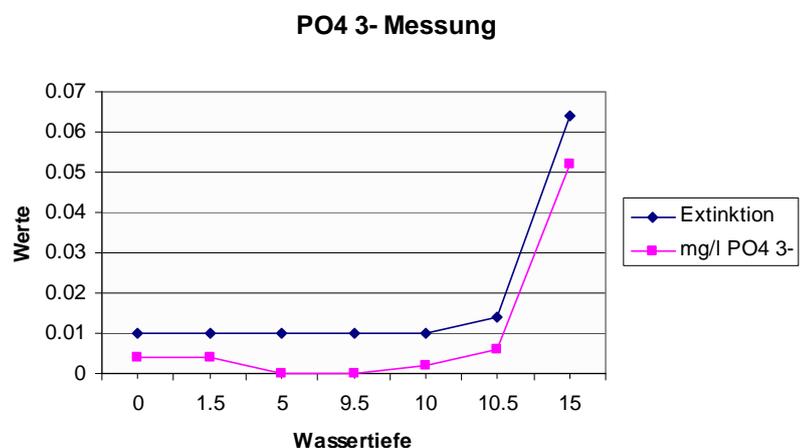
Durchführung: Zuerst wird eine Eichreihe durchgeführt, um die Proportionalität zwischen Konzentration und Extinktion zu testen. Dazu werden fünf Lösungen mit zunehmender, bekannter Konzentration an Kaliumnitrat hergestellt. Somit weiss man, welche Konzentration welcher Extinktion entspricht. Da Nitrat alleine eigentlich farblos ist, werden bestimmte Chemikalien hinzugegeben, die zu einer gelben Färbung der Lösung führen und somit kann die Absorption in einem bestimmten Wellenlängenbereich gemessen werden. Danach führt man den ganzen Prozess mit Proben aus dem Lago di Cadagno durch, um den Nitratgehalt in verschiedenen Tiefen des Sees zu bestimmen.

Diskussion: An der Oberfläche hat es vergleichsweise viel Nitrat, weil der Nitratgehalt direkt vom Sauerstoffgehalt abhängig ist und dieser im oberen Teil des Sees entsprechend grösser ist. Dieses Phänomen trifft auf alle Seen zu, da von der Oberfläche zum Grund die Fotosynthesetätigkeit stetig abnimmt.



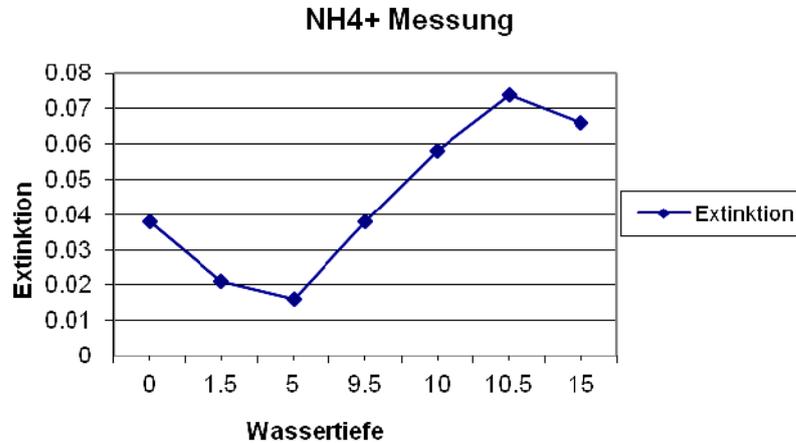
Phosphatmessung

Durchführung: Auch hier wird zuerst eine Eichreihe hergestellt, um bekannte Konzentrationen den unterschiedlichen Extinktionen zuzuordnen. Danach gibt man zu den Seewasserproben Chemikalien hinzu, welche zu einer Blaufärbung der Lösung führen. Danach kann wiederum mit der Fotospektrometrie der Phosphatgehalt des Seewassers aus unterschiedlichen Tiefen bestimmt werden.



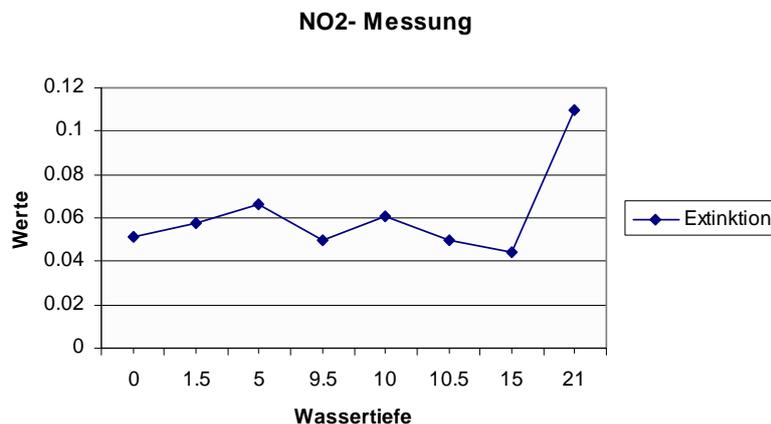
Ammonium

Diskussion: Mit abnehmendem Sauerstoffgehalt steigt die Konzentration von Ammonium, weil durch den fehlenden Sauerstoffgehalt weniger Nitrat umgesetzt werden kann und stattdessen die Produktion von Ammonium zunimmt.



Nitrit

Diskussion: Auch für Nitrit nimmt mit zunehmender Tiefe und abnehmendem Sauerstoffgehalt die Konzentration zu. Am Seegrund ist eine rapide Zunahme des Nitritgehalts feststellbar, weil es bei 21 m extrem wenig fotosynthesebetreibende Organismen hat³.



³ Kritische Anmerkung (KS): Unterhalb von 12 m finden sich keine photosynthetisch aktiven Organismen mehr, weil das Licht fehlt. Der Anstieg von NO₂⁻ dürfte auf Mineralisierungsprozesse im Sediment zurückzuführen sein.

GESAMT- / CARBONATHÄRTE VON WASSER

Im Wasser gelöste Magnesium- und Calciumionen spielen im Mineralhaushalt eines Sees eine wichtige Rolle und sind auch für viele im See vorkommende Organismen wichtig, um deren inneres Milieu aufrechtzuerhalten. Neben Mg^{2+} und Ca^{2+} finden sich weitere zweiwertige Ionen, etwa Sr^{2+} , Br^{2+} oder Fe^{2+} im Wasser gelöst, auf die in diesem Bericht aber nicht näher eingegangen werden soll. Calciumionen werden in höheren Tieren für den Stoffwechsel von Nerven- und Muskelzellen benötigt und als Baustoff in Knochen und Zähnen. Schnecken und Muscheln benötigen Calcium für den Bau ihrer Schalen und Gehäuse. Magnesiumionen sind Bestandteil von Chlorophyll und spielen damit im Wasser eine wichtige Rolle für den Aufbau von Algenbiomasse. Für die Aufrechterhaltung ihres inneren Milieus benötigen Wirbeltiere sowohl Mg^{2+} als auch Ca^{2+} , denn beide Ionen beeinflussen das membrangebundene osmotische Potential von lebenden Zellen.

Calciumionen liegen im Wasser als gelöstes Calcium-Hydrogencarbonat, $CaHCO_3$ vor. Die Menge gelösten Calciums wird als Carbonathärte⁴, die Gesamtmenge aller zweiwertigen Metallionen in Wasser als Gesamthärte bezeichnet und in Härtegraden angegeben. Eine in der Schweiz oft verwendete Messeinheit sind die französischen Härtegrade (fH)⁵.

Methode zur Bestimmung von Calcium- und Magnesium-Ionen⁶

Um die Carbonathärte des Wassers in verschiedenen Tiefen des Lago di Cadagno zu ermitteln, wurden komplexometrische Titrations mit Titriplex3 (Na_2H_2EDTA) und einem Farbindikator durchgeführt. Als Indikator für Calciumionen wurde Calconcarbonsäure verwendet. Bei deren Zugabe zu einer Wasserprobe entsteht ein farbiger Komplex. Dabei wird der grösste Teil, aber nicht alles, Ca^{2+} aus dem Wasser entfernt. Wird anschliessend Titriplex3 zugegeben, werden damit die restlichen freien Ca^{2+} in einem farblosen Komplex gebunden. Weil der Komplex von Ca^{2+} mit Titriplex stärker als jener von Ca^{2+} mit Calconcarbonsäure ist, verschiebt sich das Gleichgewicht zugunsten des Titriplex- Ca^{2+} Komplexes und die Konzentration an Calconcarbonsäure- Ca^{2+} Komplex nimmt allmählich ab, die Farbe verschwindet. In Abhängigkeit der Anfangskonzentration von Ca^{2+} verläuft die Farbänderung je langsamer, je höher die Anfangskonzentration von Ca^{2+} .

Um die Gesamthärte des Wassers zu bestimmen, wurde in Ergänzung zur Carbonathärte ebenfalls die Menge an Magnesiumionen bestimmt. Die Summe von Calcium- und Magnesiumhärte wird als Hydrogencarbonathärte

⁴ im Resultateteil als Calciumhärte bezeichnet

⁵ <http://de.wikipedia.org/wiki/Gesamth%C3%A4rte>

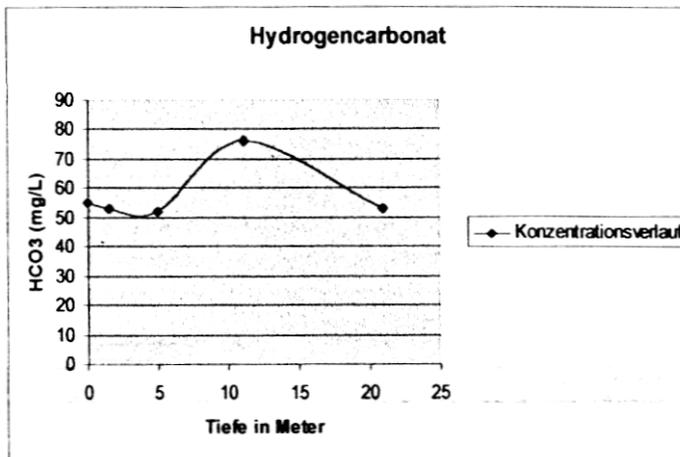
⁶ leider sind die dazugehörigen Originaldaten nicht erhalten (Anm. K.S.)

te⁷ bezeichnet und entspricht in guter Näherung der Gesamthärte, weil die übrigen zweiwertigen Kationen im Wasser nur in sehr kleinen Konzentrationen vorkommen. Nach der Bestimmung der Carbonathärte, bleibt ein Säureüberschuss aus dem Austausch von gelöstem Ca²⁺ gegen zwei H⁺ aus dem Na₂H₂EDTA. Dieser Säureüberschuss wird mit Salzsäure und Wasserstoffperoxid neutralisiert, dann wird mit Ammoniak alkalisiert und mit Eriochromschwarz T die Magnesiumionen titriert.

Resultate

Hydrogencarbonat			Calcium und Magnesium-Ionen			
Probe	Tiefe in Meter	HCO ₃ ⁻ mg/l	Tiefe in Meter	Calcium mg/l	Magnesium mg/l	Gesamthärte in fH
Probe 1	0	54.9	0			
Probe 2	1.5	52.86	1.5	24.44		
Probe 3	5	51.8	5	23.64		
Probe 4	11.2	76.25	11.2	50	21.64	17.9°
Probe 5	21	52.86	21	22	14.82	9.2°

Rote Ziffern sind nicht gemessen sondern durch Gemeinsamkeiten und Abhängigkeiten errechnet.



Schlussfolgerungen

Die Messwerte der Hydrogencarbonat- und der Calciumhärte weisen in Proben 2, 3 und 5 kaum Abweichungen auf. Nur Probe 4, welche aus der Chemokline stammt, weist eine um 150% erhöhte Hydrogencarbonatkonzentration⁸ auf. Dies lässt sich möglicherweise auf die Anwesenheit der Purpurbakterien zurückführen. Möglich wäre, dass die Stoffe⁹ aus den Bak-

⁷ diese Angaben müssen sorgfältig überprüft werden: mit „Carbonat“ wird mit der Carbonathärte an Ca gebundenes HCO₃⁻ bezeichnet – die Beschreibung der „Hydrogencarbonathärte“ erscheint hier willkürlich

⁸ gegenüber welchem Referenzwert?

⁹ gemeint sind wohl Ca²⁺ und Mg²⁺ (Anm. K.S.)

terien durch deren Zerstörung mit den Chemikalien ins Wasser gelangt sind und die Werte erhöht haben. Auf Grund der Konstanz der Messwert lässt sich vermuten, dass sich Probe 1 der Calcium- und Magnesiumhärte gleich verhält, wie die Proben 2, 3 und 5. Die Proben 2 und 3 zeigen zudem bei der Magnesiumhärte ein ähnliches Verhältnis¹⁰ zur Hydrogencarbonatbestimmung, wie diejenige der Calciumhärte - also ca. 4 ml. Diese Messwerte fehlen aufgrund mehrerer Fehler bei der Durchführung der Methode.

Insgesamt kann das Wasser als weich beurteilt werden. Damit liegt der See nicht in einer stark kalkhaltigen Gesteinsschicht, bzw. das zufließende Wasser enthält nur geringe Mengen an gelöstem Ca^{2+} und Mg^{2+} .

SAUERSTOFFGEHALTBESTIMMUNG

Methode

5 Messungen wurden bei 0, 1.5, 5, 11.2 und 21m Tiefe durchgeführt.

Nach der Probenentnahme wurde den Proben je 0.5 ml Mangan(II)-sulfatlösung (MnSO_4) und Kaliumiodidlösung ($\text{KI}+\text{NaOH}$) hinzugefügt, um den Sauerstoff damit reagieren zu lassen, damit alle Organismen oxidiert werden. Ohne diese Reaktion würde der Sauerstoffgehalt durch Zooplankton reduziert und somit verändert werden.

Nach Absitzen des Niederschlags wurde den Proben 3 ml Natriumhydrogensulfatlösung (NaHSO_4) dazugegeben.

40 ml der jeweiligen Proben wurden je dreimal mit 2 ml Stärkelösung (1%) gemischt. Kaliumiodid (Lugol) und Stärke reagieren miteinander, so dass die Proben eine dunkelblaue Farbe erhielten. Danach wurden die Proben mit der Natriumthiosulfatlösung 0.01 mol/l ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) so lange titriert, bis die Lösung wieder ganz durchsichtig wurde.

Aus der Menge der verbrauchten Natriumthiosulfatlösung konnte der Gehalt an Sauerstoff in der Probe berechnet werden. Dabei wurde das durchschnittliche Volumen an verwendeter Natriumthiosulfatlösung aus den jeweils 3 Titrationen mit dem Faktor 80 multipliziert und durch das Volumen an titriertes Wasser (jeweils 40 ml) dividiert.

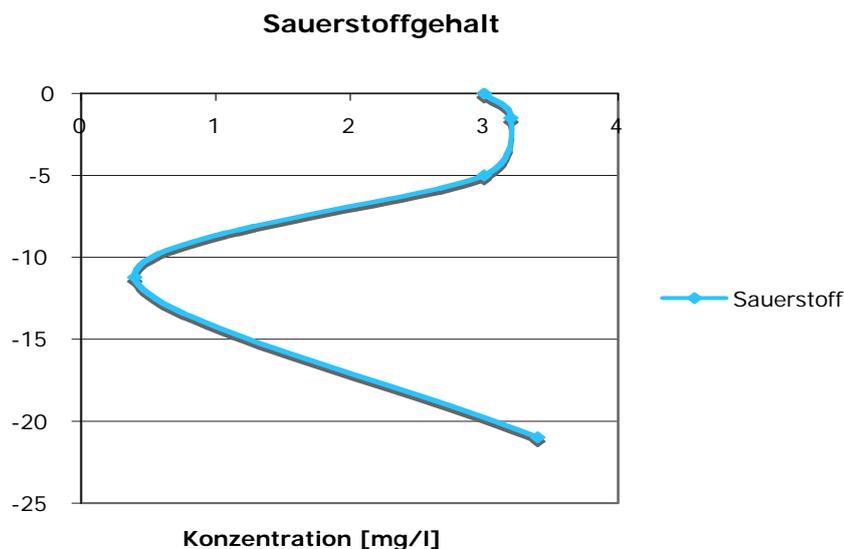
¹⁰ diese Aussage muss sich auf die Durchführung beziehen (Anm. K.S.)

Resultat

Der Sauerstoffgehalt schwankt bei verschiedenen Tiefen immer zwischen 3 und 3.5 mg/l mit Ausnahme der Probe bei 11.2 m (nämlich nur 0.4 mg/l), wo sich die Chemokline befindet.

Diskussion

Unsere Erklärung für diese Messwerte ist, dass unter der Chemokline nur noch höchstens 1% des Lichts ankommt, was die gewöhnliche Fotosynthese nicht mehr ermöglicht und deshalb nur noch die Sulfatreduktion stattfinden kann. Den Grund für den gemessenen Sauerstoffgehalt von 3.4 mg/l bei 21 m Meter Tiefe könnte daran liegen, dass anstatt Sauerstoff (O_2) Schwefelwasserstoff (H_2S) reagiert und das Resultat verfälscht haben könnte. Da sich solche Moleküle wegen ihrer hohen Dichte nur im unteren Teil des Sees in grossen Mengen befindet und das H_2S in der Chemokline verbraucht wird, kann man davon ausgehen, dass nur die Messung bei 21 m Tiefe beeinflusst werden konnte.



BAKTERIEN

Unser Ziel war es die Zahl der aeroben heterotrophen Bakterien im Lago di Cadagno in unterschiedlichen Tiefen zu vergleichen.

Um herauszufinden in welcher Tiefe die meisten Bakterien vorhanden sind, haben wir die Leitfähigkeit und die Trübung des Wassers in unterschiedlichen Tiefen gemessen. Dort wo die grösste Trübung war, ein halber Meter darüber und eine halber Meter darunter, haben wir Proben genommen. Zum Vergleich nahmen wir auch Proben von der Oberfläche und vom Grund des Sees.

Kultivierung der Bakterien

Damit die Bakterien wachsen konnten, benötigten wir ein Nährmedium. Dieses wurde aus Wasser und „Plate Count Agar“ -Pulver (PCA) hergestellt, wobei das Volumen auf die Anzahl der Platten (40) abgestimmt wurde. Zuerst haben wir das PCA-Pulver und das Wasser unter Rühren erwärmt, bis sich der Agar gelöst hat. Dies haben wir in autoklavierbare Gefässe gefüllt und während 20 Minuten bei 120°C autoklaviert und danach auf etwa 30 – 40° C abkühlen lassen, wobei das Medium zähflüssig wurde. Diese viskose Flüssigkeit haben wir auf 40 leere, sterile Petrischalen verteilt.

Um die Konzentration der Bakterien zu verringern, haben wir aus destilliertem Wasser, Pepton und andern Chemikalien durch Autoklavieren Peptonwasser hergestellt. Aus jeder der fünf Wasserproben haben wir vier verschiedene Lösungen hergestellt: normal, zehnfache Verdünnung, hundertfache Verdünnung und zehnfache Konzentrierung. Von all diesen Lösungen haben wir jeweils 1 ml Lösung auf eine der mit Nährboden ausgestatteten Petrischalen gegeben, diese beschriftet und zur Absicherung der Resultate jeweils zu jeder Probe ein Duplikat erstellt. Nun haben wir die 40 Petrischalen bei 30°C inkubiert. Am 1. Tag sahen die Platten noch gleich aus wie am Tag zuvor und erst am 2. Tag hatten sich einige Bakterienkolonien gebildet. Dann haben wir die Kolonien der verschiedenen Wasserproben ausgezählt. (Tabelle 1)

Tabelle 1

Konzentration	Anzahl der Bakterien in Kolonien				
	A (Oberfläche)	B (10.7 m)	C (11.2 m)	D (11.7 m)	E (20m)
normal	115	36	61	72	109
/10	24	33	6	5	2
/100	1	69	7	3	2
x10	37	47	58	23	32

Berechnungen der Koloniezahlen als Kolonien pro ml Probe CFU/ml

Normal: 1ml

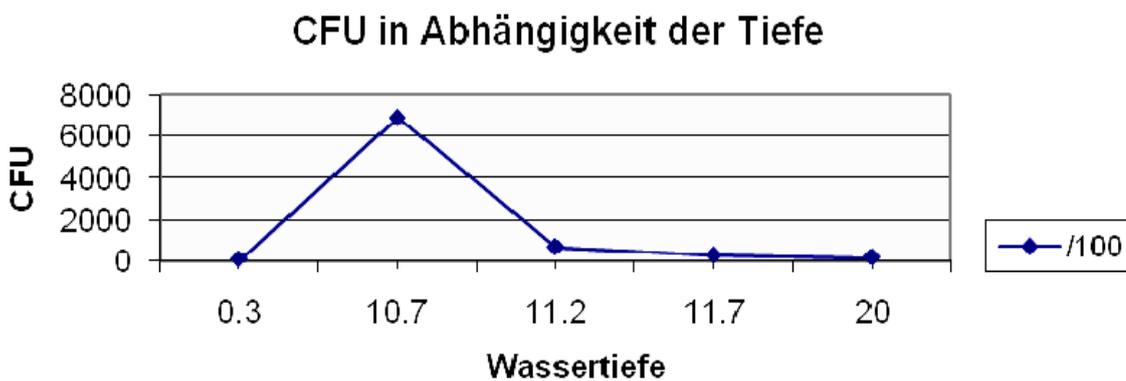
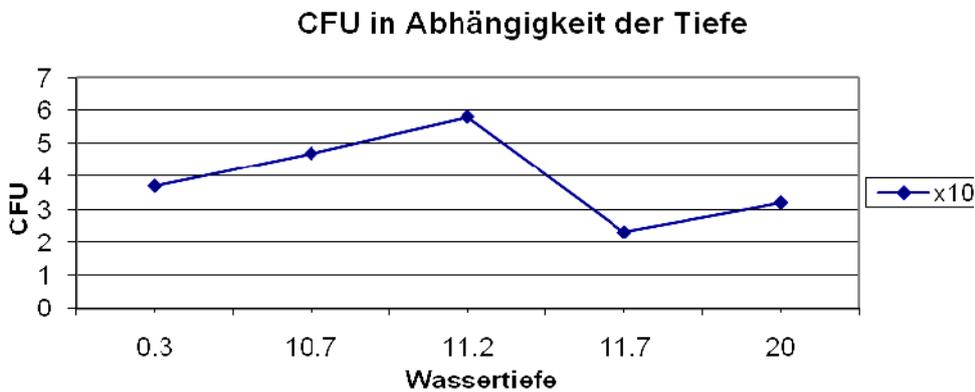
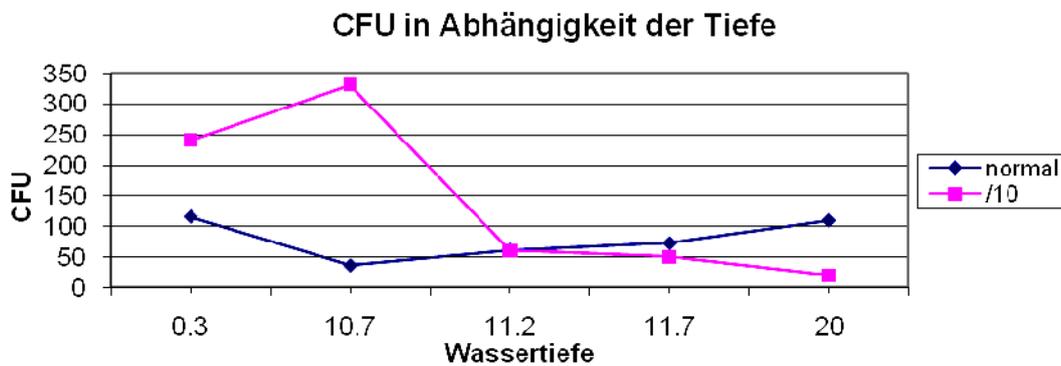
/10: 1ml/10 = 0.1 ml

/100: 1ml/100 = 0.01 ml

X10: 1mlx10 = 10 ml

Tabelle 2

	Koloniezahlen als Kolonien pro ml Probe CFU/ml				
normal	115	36	61	72	109
/10	240	330	60	50	20
/100	100	6900	700	300	200
x10	3.7	4.7	5.8	2.3	3.2



CHLOROPHYLLESTIMMUNG

Mit der hier beschriebenen Methode können verschiedene Chlorophylle aus dem Lago di Cadagno heraus extrahiert, unterschieden und verglichen werden.

Probenahme auf dem Floss

1. Material:

- 4 Plastikflaschen für Seewasser
- Filzschreiber wasserfest um Flaschen anzuschreiben

2. Vorgehen:

Insgesamt werden 4 Wasserproben aus dem See genommen. Eine Probe von der Wasseroberfläche, eine aus der Chemokline und zwei Proben dazwischen.

Filtration

3. Material

- Filterpapierchen (Durchmesser passend zu Nutsche)
- Wasserstrahlpumpe
- Filtergefäss mit Trichter (Nutsche)

4. Vorgehen

Pro Wasserprobe werden jeweils 500 ml abgemessen und in den mit Filterpapierchen ausgebetteten Filter, welchen an die Wasserstrahlpumpe angeschlossen ist, geleert. ACHTUNG: Filterpapierchen dürfen sich nicht verschieben! Während der Filtration werden auf dem Filterpapierchen farbige Punkte sichtbar

Extraktion

5. Material

- Aceton
- Mörser mit Pistill
- 4 Tubes (zentrifugierfähig)

6. Vorgehen

Das nasse Filterpapier wird in einen Mörser gegeben und unter Zugabe von 3 ml Aceton zerkleinert, die Lösung wird anschliessend in eines der Tubes gegeben. Der Mörser wird zuerst mit 3ml und anschliessend mit 1.5 ml nochmals mit Aceton nachgespült, damit keine Partikel im Mörser zurückbleiben. Dies wird mit allen der 4 Lösungen durchgeführt.

Die gefüllten Tubes werden im Dunkeln aufbewahrt, bis alle 4 bereit sind und für ca. 10 Minuten in die Zentrifuge kommen.

Photospektrometrische Messungen

7. Material

4 Cuvetten
Photospektrometer

8. Durchführung

Das Pellet jeder der 4 Proben wird entfernt und nur der Überstand wird in Cuvetten gegeben. Die Cuvetten kommen in den Photospektrometer, wo gemessen wird, wie viel Licht von den Chlorophyllen aufgenommen werden kann. Diese Werte können als Zahlen vom Photospektrometer abgelesen werden.

Resultate und Diskussion

Vermutungen zur Chlorophyllbestimmung im Lago di Cadagno

- Chlorophyllgehalt nimmt in der Tiefe zu. Warum?
- Wasserproben wurden am Morgen genommen (10 Uhr). Hat das einen Einfluss?
- Warum nimmt die Algenbiomasse mit steigender Wassertiefe zu?
- In welchen Organismen kommen Chlorophyll a, b und c vor?

Erklärungen: Der Chlorophyllgehalt nimmt mit der Tiefe zu, aufgrund der Zunahme der Algenbiomasse. Die Algen sinken in der Nacht ab, da sie nachts keine Fotosynthese betreiben können. Die bei der Fotosynthese entstandenen Gase lassen die Algen aufsteigen. Diese Schlussfolgerungen werden auch durch die ATP- Messungen bekräftigt. Mit zunehmender Tiefe steigt auch die ATP-Menge.

Herkunft der Chlorophyllarten (Brock, Biology of Microorganisms, 1997)

Chlorophyll a und b: Grünalgen (Chlorophyta); Euglena (Euglenophyta)
Chlorophyll a und c: Braunalge (Phaeophyta); Dinoflagellaten (Pyrrophyta)
Chlorophyll a, c und e: Glodbraunalge (Chrysophyta)
Chlorophyll a und d: Rotalgen (Rhodophyta)

Formeln für die Chlorophyllkonzentrationenberechnungen

Monochromatische Methode (Lorenzen, 1967)
Chlorophyll a (mg/m³) = $(11 \cdot 2.43 \cdot (A_{6650} - A_{665a}) \cdot v) / (V \cdot Z)$

Trichromatische Methode (Jeffrey and Humphrey, 1975)
Chlorophyll a (mg/m³) = $((11.85 \cdot A_{664} - 1.54 \cdot A_{647} - 0.08 \cdot A_{630}) \cdot v) / (V \cdot Z)$
Chlorophyll b (mg/m³) = $((21.03 \cdot A_{647} - 5.43 \cdot A_{664} - 2.66 \cdot A_{630}) \cdot v) / (V \cdot Z)$
Chlorophyll c (mg/m³) = $((24.52 \cdot A_{630} - 1.67 \cdot A_{664} - 7.60 \cdot A_{647}) \cdot v) / (V \cdot Z)$

Tabelle 3

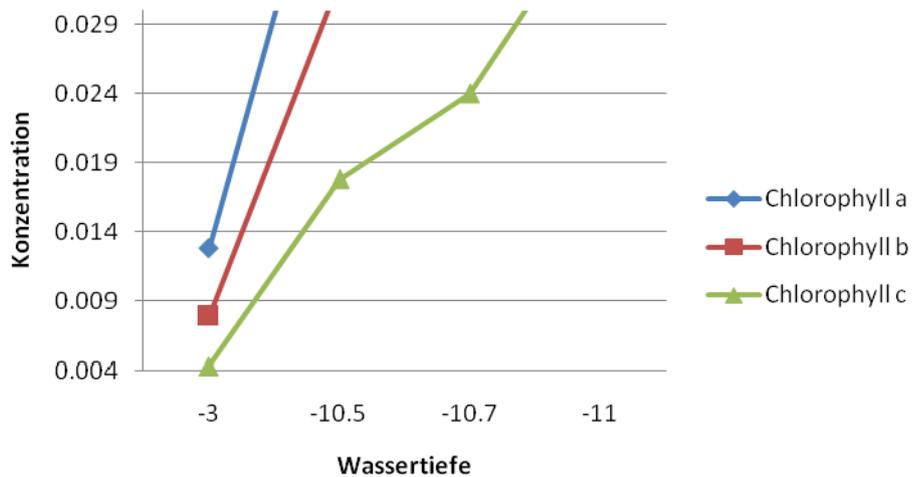
Wellenlänge [nm]	J (3m)	L (10.5m)	B(rot) 10.7m	N (11m)
750				
665	0.025	0.035	0.079	0.135
664	0.025	0.035	0.081	0.169
663	0.025	0.034	0.082	0.163
647	0.018	0.03	0.095	0.135
630	0.017	0.03	0.089	0.156
mit 0.3 ml HCl 1 mol/l				
750 a	1.141	0.188	0.029	-0.038
665 a	1.306	0.234	0.11	-0.137
663 a	1.321	0.236	0.113	0.087
v (ml)	9.1	9.9	7.5	7.6
V (ml)	500	250	414	500
z (cm)	1	1	1	1
Chl-a (Lorenzen)	-			
	0.6232	-0.2106	-0.0150	0.1105
Chl-a(Jeffrey)	0.0049	0.0145	0.0146	0.0271
Chl-b(Jeffrey)	0.0036	0.0143	0.0239	0.0229
Chl-c(Jeffrey)	0.0043	0.0178	0.0240	0.0383
Algenbiomasse mg/m ³	0.3258	0.9715	0.9788	1.8151

Ergebnisse:

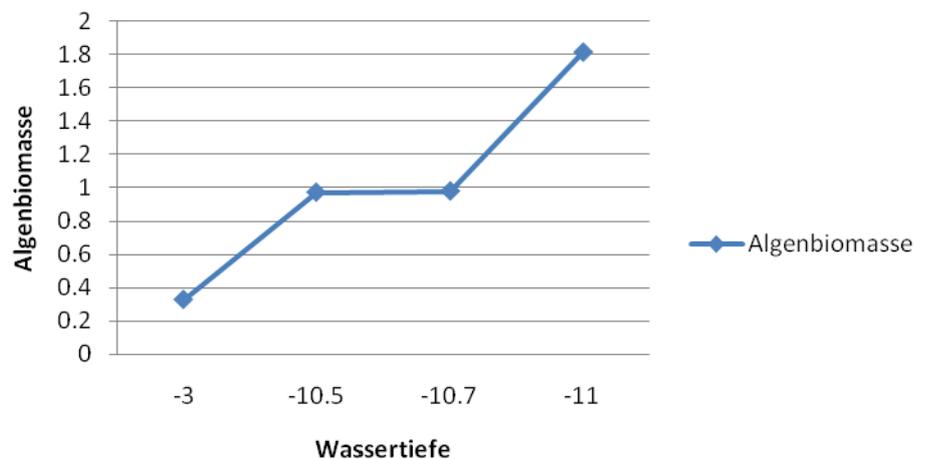
Obwohl der Lago di Cadagno in verschiedene Schichten aufgeteilt ist, in denen verschiedene Bedingungen herrschen, findet man in allen Tiefen (welche wir untersucht haben) heterotroph aerobe Bakterien, also auch in denjenigen Schichten, in welchen vor allem phototrophe oder aerobe Bakterien erwartet werden. Dies erkennen wir daran, dass sich die anaeroben und phototrophen Bakterien auf unseren Nährböden gar nicht kultivieren liessen, da für die phototrophen Bakterien zu wenig CO₂ und Licht in den Petrischalen in der Wärmekammer vorhanden war. Anaerobe Bakterien konnten ebenfalls nicht wachsen, da ein Sauerstoffüberschuss und ein H₂S-Defizit vorhanden waren. Auch in den Schichten, in welchen keine heterotroph autotrophen Bakterien erwartet wurden, wurden welche gefunden. Dies könnte damit erklärt werden, dass solche Bakterien in den untersuchten Schicht nicht aktiv waren. Wahrscheinlich ist auch, dass heterotroph aerobe Bakterien, welche sich in sauerstoffarmen Schichten befinden, aus darüber liegenden Schichten stammen, also abgesunken waren und in den zu untersuchenden Schicht zu liegen kamen.

Eine der ersten Erkenntnisse war (was man auch an den entsprechenden Zahlen in Tabelle 2 sieht), dass sich die Methode des Aufkonzentrierens nicht gelohnt hat, da nicht wie erwartet zehnmal mehr, sondern viel weniger Bakterienkulturen vorhanden waren. Dies könnte daran liegen, dass sich beim Zentrifugieren für die Konzentrationsverzehnfachung kein Pellet gebildet hat, und wir nur 9 ml der Lösung abpipettiert haben.

Chlorophyllkonzentrationen in Abhängigkeit der Wassertiefe



Algenbiomasse in Abhängigkeit der Wassertiefe



Das Grundziel der Verdünnung haben wir grundsätzlich erreicht. Wir haben die Wasserproben jeweils entsprechend verdünnt, da wir die Konzentration der Partikel und somit auch (später) der Bakterienkolonien herabzusetzen. In allen Beispielen sind nämlich bei der ersten Verdünnung deutlich weniger Bakterienkulturen vorhanden, als in der „normalen“ Wasserprobe. Die Erwartungen, dass bei zehnfacher Verdünnung etwa zehn Mal weniger Kulturen wachsen, wurden ausser in den Proben C und D allerdings nicht erreicht. Auch das bei hundertfacher Verdünnung zehn Mal weniger vorhanden sein sollten stimmt nicht. Manchmal sind sogar bei hundertfacher Verdünnung mehr Kulturen gewachsen als bei zehnfacher Verdünnung¹¹. Ganz extrem sind die Ergebnisse der Verdünnung bei der Probe B, welche aus der Wassertiefe von 10.7 m stammen, wo im Wasser die grösste Trübung vorhanden war. Wir nehmen an, dass dies daher rührt, dass in der Wasserprobe nicht nur Bakterien sondern auch viele toxische Stoffe vorhanden waren, welche durch die Verdünnung ebenfalls reduziert wurden, was das Bakterienwachstum förderte.



¹¹ eine überfüllte Nährboden-Platte kann nie sinnvoll interpretiert werden; oft kommt es zu Konkurrenz- und Hemmungseffekten zwischen verschiedenen Kolonien

PLANKTONUNTERSUCHUNGEN

Um unsere Messungen zu untermauern, haben wir Wasserproben aus verschiedenen Tiefen auf die Dichte von Planktonorganismen untersucht. Leider haben wir im filtrierten Wasser aus jeweils 1.5 L nichts gefunden. In einem weiteren Ansatz sind wir mit dem Böttchen auf den See gerudert und haben das Planktonnetz quer über den See, durch das Oberflächenwasser gezogen. Unserer Fang enthielt unter anderem:

diverse Grünalgen

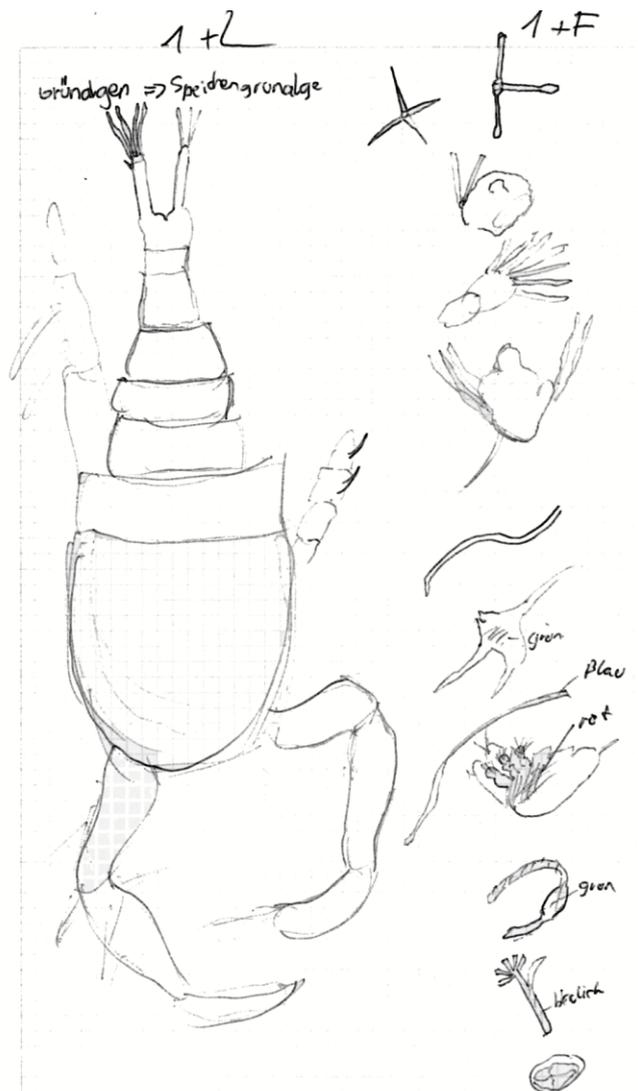
diverse Rotalgen

Kieselalgen

diverse Wimpertierchen

Ruderfusskrebchen

Copepoden, insbes. Cyclops



WILDBEOBACHTUNG

Vögel

Steinrötel *Monticola saxatilis*

Länge: 17-20cm

Habitat: in Höhen von über 1500m, an steilen, felsigen Hängen oder hochgelegenen Matten

Vorkommen: im Sommer im Süden Europas, im Winter in der Sahara



Beobachtung:

auf ca. 2000m Höhe

auf steiler Matte

blauer Kopf, orange Brust, schwarze Flügel

Fazit: männlicher Steinrötel im Prachtkleid

Säugetiere

Alpenmurmeltier *Marmota marmota*

KRL: 45-58cm

Aussehen: kurzer, runder Kopf; kleine Ohren; kurze, kräftige Extremitäten; grau bis rötlich gelbe Fellfarbe

Biologie: pflanzliche Nahrung; Leben im Familienverband; hohes Alter; geringer jährlicher Zuwachs; bauen Höhlensysteme

Habitat: baumloses oder baumarmes Grasland; subalpine und alpine Stufe

Vorkommen: Alpenbogen



Vorgehen: gebückte, langsame Annäherung zum Bau bei starkem Gegenwind pfeifen in unterschiedlichen Frequenzen. Überprüfung der Fluchtdistanz mittels aufrechter, rascher Annäherung

Beobachtung:

scheu allzeit fluchtbereit bei sonnigem Wetter auf der Wiese, bei Bewölkung nur am Baueingang

gegenseitiges Reinigen gesellig hohes Pfeifen, welches langsam tiefer wird weckt Interesse Fluchtdistanz liegt im Durchschnitt bei 5m

Alpensteinbock *Capra ibex*

KRL: 115-170cm

Aussehen: fahlbraunes bis ockerfarbenes Fell

Bock: säbelförmig nach hinten gekrümmte Hörner mit Knoten (Altersbestimmung); kurzer Kinnbart

Geiss: knotenlose Hörner

Biologie: während hochwinterlichen Brunftzeit in gemischten Verbänden; im Sommer geschlechtlich getrennt; Ernährung von Gras, Kräuter und wenigen Holzgewächse

Habitat: alpin (1600-3200m); steile, felsige Hänge

Vorkommen: gesamter europäischer Alpenraum, mit nach Osten abnehmender Häufigkeit

Vorgehen: Absuchen der gegenüberliegenden Felswand mit dem Fernrohr
Annäherung an das Tier über eine Grasmatte mit einer Steigung von ca. 100%
Beobachtung:

aufmerksam; nicht schreckhaft (Annäherung auf 20m); im Fellwechsel; ca. 25cm lange Hörner mit Knoten

Fazit:

Männchen; Altersschätzung auf ca. zwei Jahre (1-3 Knoten pro Jahr)



Amphibien

Bergmolch Triturus alpestris

Länge: 8-11cm

Aussehen: weiche, feuchte Haut

Männchen: schwarz, oranger Bauch, gelber Kamm mit Tupfen

Weibchen: braun-schwarz, grösser als Männchen

Habitat: feuchte Umgebung



Beobachtung:

männlicher und weiblicher Bergmolch bei der Balz

Wasserfrosch Rana esculenta

Länge: 10-13cm

Aussehen: kräftige Beine, schwanzlos, getupft, grün bis braun

Habitat: feuchte Umgebung

Beobachtung:

schreckhaft; Paarung

braun gefärbt; bleiben in Wassernähe; springen teilweise auf dem Eis



EXKURSION LAGHETTI DI TANEDA

Am Mi 23. Juni unternahmen wir einen kurzen Ausflug zu den Laghetti di Taneda. Die geringe Höhendifferenz führte uns aus dem mittlerweile sommerheissen Talkessel des Cadagno in frühlingshaft mildes Klima rund um die noch mit Eis bedeckten kleinen Seen der Taneda. In Antizipation eines schweissnassen Aufstiegs wurde der Ausflug anfänglich verachtet.



Das gemeinsame Liedgut der Klasse 2B rettete die Gruppe vor dem kulturellen Niedergang und der erfrischende Schnee erweckte den Kampf- und Überlebensgeist der so arg beanspruchten Schülerinnen und Schüler. Trotz allem eine war's eine willkommene Abwechslung zur konzentrierten Arbeit im Labor und am Schreibtisch. (K.S.)

