

Zeitschrift: Jahrbuch / Uferschutzverband Thuner- und Brienzersee
Herausgeber: Uferschutzverband Thuner- und Brienzersee
Band: - (2018)

Artikel: Untersuchungen am Brienzersee : Planktonentwicklung in Abhängigkeit von Sauerstoff und Temperatur im Frühling 2017
Autor: Jakob, Erja
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1095894>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.03.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Erja Jakob

Untersuchungen am Brienzersee: Plankton-entwicklung in Abhängigkeit von Sauerstoff und Temperatur im Frühling 2017

Vorwort

Während meiner ganzen Kindheit hatte der Brienzersee einen besonderen Platz in meinem Herzen. Enten füttern, Schifffahren und Baden – all dies sind Erlebnisse, welche ich mit dem Brienzersee in Verbindung bringe. Auch heute noch darf ich seinen Anblick beinahe jeden Tag geniessen.

Für mich war schnell klar, dass ich bei meiner Maturaarbeit etwas im Themenbereich der Biologie untersuchen möchte. Da ich etwas untersuchen wollte, wozu ich auch einen persönlichen Bezug habe, eignete sich der Brienzersee optimal als Untersuchungsobjekt. Mein persönlicher Bezug zum Brienzersee bildete eine gute Grundlage, um mich über eine längere Zeit motiviert mit ihm auseinanderzusetzen und praktische Untersuchungen vorzunehmen. Seine Einzigartigkeit als tiefster See der Schweiz und seine ständig wechselnde Farbe machen ihn zusätzlich zu einem interessanten Untersuchungsobjekt.

Ein weiterer Beweggrund, weshalb ich mich für Untersuchungen am Brienzersee entschied, war der Einbruch der Felchenerträge, unter denen die Fischer seit der Jahrtausendwende litten. Es wurden bereits zahlreiche Zeitungsartikel und diverse ökologische Untersuchungen veröffentlicht, welche diese Problematik thematisieren.

Da ich in meiner Arbeit nur wenige Parameter, diese aber intensiv untersuchen wollte, beschränkte ich mich auf Sauerstoff, Temperatur und Plankton, welche ich im Verlauf des Frühling 2017 unter die Lupe nahm. Da Plankton eine Nahrungsgrundlage der Fische ist, stellen Planktonbestimmungen einen Bezug zur aktuellen Thematik des Fischrückgangs dar. Für die Sauerstoffgehaltbestimmung und die Temperaturmessung entschied ich mich, weil diese aus ökologischer Sichtweise eng mit dem Plankton in Verbindung stehen: Algen betreiben Fotosynthese und produzieren dabei Sauerstoff, während die Tierchen des Planktons dem Wasser Sauerstoff entziehen. Weiter kam auch meine Begeisterung für Chemie bei der Bestimmung des Sauerstoffgehaltes mithilfe der Winkler Methode auf ihre Kosten.

1. Einleitung

Der Brienersee liegt im Berner Oberland und ist einer der grössten Schweizer Alpenrandseen. Seine wichtigsten Zuflüsse sind die in Brienz in den See mündende Hasliaare und die Lutschine mit ihrer Mündung in Bönigen. Das Einzugsgebiet, in dem diese beiden Flüsse ihren Ursprung haben, besteht zur Hälfte aus unproduktiven Zonen wie Fels und Gletscher. Von den Fliessgewässern werden dem See von Natur aus nur wenige Nährstoffe zugeführt. Somit ist er auch bekannt als der sauberste See der Schweiz. Mit sauber ist dabei gemeint, dass wenige Pflanzennährstoffe wie Phosphat (PO_4^{3-}) und Nitrat (NO_3^-) darin gelöst sind. Schon vor Jahren wurden zahlreiche Untersuchungen zur Problematik des Fischertragsrückgangs am Brienersee vorgenommen. So schrumpften die Erträge der Berufsfischer zwischen den 1970er Jahren und dem Jahr 2000 auf fünf Prozent (Zeh, 2006).

Ab 2000 brachen die Felchenerträge noch einmal stark ein. Diese Entwicklung der Felchenerträge im Brienersee korrelierte mit dem Phosphateintrag: Die Fangstatistiken zeigen, wie der Ertrag der Grossfelchen im Brienersee mit der Zunahme der Gewässereutrophierung nach dem 2. Weltkrieg zunahm; nach dem Bau der Abwasserreinigungsanlagen in den 1970er Jahren und dem Verbot von phosphathaltigen Waschmitteln ging er wieder zurück.

Ein natürlicher Faktor für die geringe Produktivität ist die starke Trübung des Brienersees. Diese Trübung entsteht durch Schwebstoffe (feste Partikel) im Wasser, welche die Aare und die Lutschine vor allem im Sommer von den Gletschern in den Brienersee transportieren. Durch diese mineralischen Schwebstoffe im Wasser gelangt weniger Licht in den See, was zu einer Abnahme der Fotosyntheserate führt (Zeh, 2006).

Aus praktischen Gründen lässt diese Arbeit aber Phosphatkonzentration und Lichtmenge beiseite und konzentriert sich auf Temperatur und Sauerstoffgehalt. Beide Faktoren haben ebenfalls einen Einfluss auf das Plankton und haben über die Sonneneinstrahlung sowie die jahreszeitlich unterschiedliche thermische Schichtung und Zirkulation doch auch einen Zusammenhang mit der Lichtmenge und der Nährstoffverteilung in den verschiedenen Wasserschichten.

Der Schwerpunkt der bei dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen liegt zum einen auf der Bestimmung der Planktonentwicklung in Abhängigkeit von der Temperatur, zum andern auf der Messung des Sauerstoffgehalts und der Diskussion allfälliger Zusammenhänge mit der Planktonentwicklung. Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

Frage 1: Verändert sich die Anzahl Individuen des Phytoplanktons mit steigender Seetemperatur?

Frage 2: Verändert sich die Anzahl Individuen des Zooplanktons mit steigender Seetemperatur?

Frage 3: Wie verhält sich die Artenvielfalt des Phytoplanktons mit steigender Seetemperatur?

Frage 4: Wie verhält sich die Artenvielfalt des Zooplanktons mit steigender Seetemperatur?

Hypothese 1: Die Anzahl Individuen des Phytoplanktons nimmt mit steigender Seetemperatur zu.

Hypothese 2: Die Anzahl Individuen des Zooplanktons nimmt mit steigender Seetemperatur zu, da bei erhöhter Seetemperatur auch mehr Phytoplankton erwartet wird.

Hypothese 3: Die Artenvielfalt des Phytoplanktons erhöht sich mit zunehmender Seetemperatur, da es Arten gibt, die erst ab einer bestimmten Seetemperatur vorkommen.

Hypothese 4: Die Artenvielfalt des Zooplanktons erhöht sich mit zunehmender Seetemperatur, da bei erhöhter Seetemperatur auch mehr Phytoplankton erwartet wird.

2. Der oligotrophe See – ökologische Grundlagen

Ein Ökosystem ist definiert als Wechselwirkung zwischen Organismen und deren Lebensraum. Es weist mindestens zwei Bestandteile auf: Die Primärproduzenten, welche Fotosynthese betreiben und dabei anorganisches Material zu organischen Stoffen aufbauen. Sie dienen zusätzlich als Nahrungsgrundlage für alle anderen Organismen. Die zweite Komponente sind die Destruenten, welche organische Stoffe in Mineralien umwandeln. So ist auch ein See ein Ökosystem, wobei er mit den darum liegenden Ökosystemen in einer stetigen Wechselwirkung steht (Hoffmeister, 2017).

Der Brienzersee ist ein typischer Vorgebirgssee mit seiner Tiefe von 259 Metern und einem geringen Nährstoffgehalt. Die Phosphatkonzentration ist seit 1994 von $3\mu\text{g/l}$ (Mikrogramm pro Liter) auf weniger als $1\mu\text{g/l}$ (ab 2002) gesunken. Somit gehört er in die Kategorie der oligotrophen Seen, für welche dieser geringe Nährstoffgehalt charakteristisch ist im Gegensatz zu den eutrophen Seen (Hoffmeister, 2017). Der Bielersee weist im Vergleich zum Brienzersee eine zehn Mal höhere Phosphatkonzentration auf (Zeh, 2006).

2.1 Schichtung

Ein See setzt sich grob aus Pelagial und Benthos zusammen. Das Pelagial ist dabei der freie Wasserkörper und das Benthos die Gewässerbodenzone.

2.1.1 Benthos

Ein Teil des Benthos bildet die Uferzone, welche von der Nährschicht bis zur Kompensationsschicht verläuft. Sie wird Litoral genannt (Abb. 1). Da das Sonnenlicht hier noch gut hinreicht, ist das Litoral dicht besiedelt von Pflanzen und Insektenlarven.

Mit Profundal wird der Bodenbereich der Zehrschicht bezeichnet. Das Sonnenlicht erreicht diese Zone nicht mehr, wodurch hier auch keine Pflanzen wachsen. Um so mehr findet man hier Würmer, Insektenlarven, Rädertiere und tierische Einzeller, die von der pflanzlichen Produktion zehren (Hoffmeister, 2017).

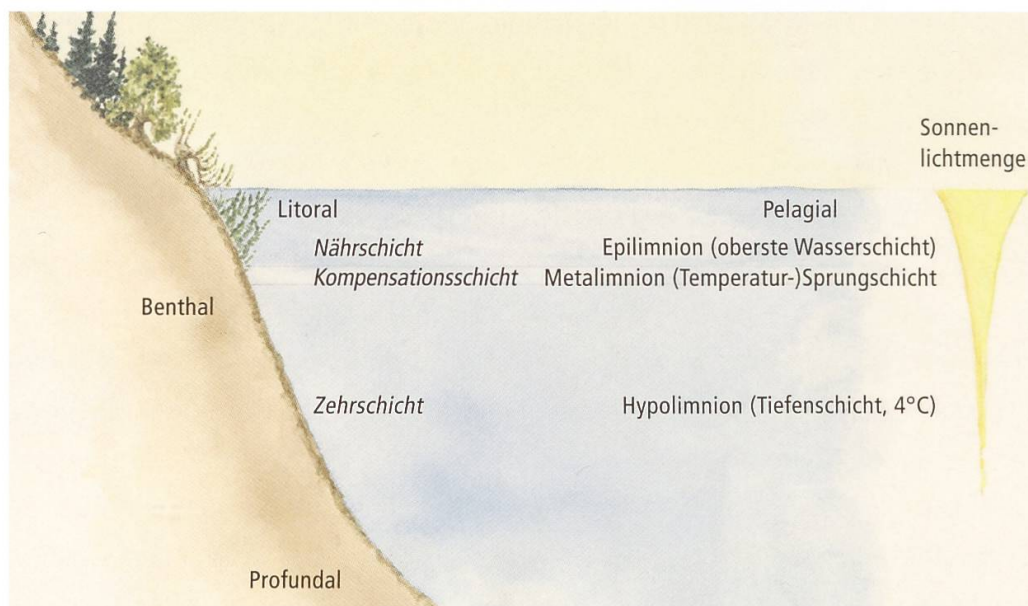


Abb. 1: Schichtung eines oligotrophen Sees

2.1.2 Pelagial

Das Pelagial wird einerseits nach biotischen Faktoren¹, andererseits nach abiotischen Faktoren² unterteilt.

Die biotische Unterteilung ist auf der Abb. 1 kursiv markiert: In der Nährschicht, auch trophogene Zone genannt, wird aufgrund der ausreichenden Lichtmenge viel Fotosynthese betrieben. Es wird durch Fotosynthese der Primärproduzenten mehr Sauerstoff produziert, als bei der Zellatmung der Konsumenten, Destruenten und Produzenten verbraucht wird.

Die Kompensationsschicht ist weniger lichtdurchflutet als die Nährschicht. Die Sauerstoffproduktion und der Sauerstoffverbrauch der Produzenten, Konsumenten und Destruenten gleichen sich hier aus.

In der Zehrschicht, auch tropholytische Zone genannt, wird die abgestorbene Biomasse der Nährschicht durch Zellatmung der Destruenten abgebaut. Dabei wird Sauerstoff gezehrt, jedoch keiner produziert auf Grund des fehlenden Sonnenlichts.

Die Unterteilung nach abiotischen Faktoren ist auf der Abb. 1 im rechten Bildteil zu erkennen: Ganz oben liegt die Deckschicht, welche auch Epilimnion genannt wird. Hier kommt es zu starken Temperaturschwankungen, weil das Wasser am stärksten von der Sonne aufgeheizt wird und sich am stärksten bewegt.

In der Sprungschicht, auch Metalimnion genannt, ist die Temperatur um 1–4 Grad Celsius geringer. Hier erreicht das Licht nicht mehr alle Regionen.

In der Tiefenschicht, wo das Licht nicht mehr hinreicht, beträgt die Wassertemperatur 4 Grad Celsius. Bei dieser Temperatur weist das Wasser die höchste Dichte auf und bewegt sich kaum mehr (Hoffmeister, 2017).

2.2 Jahreszyklus

Ein See weist in jeder Jahreszeit eine unterschiedliche thermische Schichtung auf, die jeweils einen grossen Einfluss auf die abiotischen Faktoren wie Seetemperatur und Nährstoffverteilung hat. Mit der Zu- oder Abnahme der Temperatur verändert sich der Nährstoffgehalt und die Menge der im Wasser gelösten Gase wie Sauerstoff (O₂) und Kohlenstoffdioxid (CO₂). Die für die

¹ Faktoren, die von Lebewesen beeinflusst werden, wie beispielsweise Sauerstoffgehalt. Lebewesen produzieren oder zehren Sauerstoff.

² Faktoren, die nicht von Lebewesen beeinflusst sind, wie beispielsweise Licht oder Temperatur (lern-online.net, 2016).

Planktonproduktion entscheidenden Nährstoffe in einem See sind Phosphat (PO_4^{3-}) und Nitrat (NO_3^-).

Hat Wasser eine Temperatur von 4 Grad Celsius, weist es die höchste Dichte auf und sinkt auf den Grund des Sees. Dieses Phänomen wird auch Dichteanomalie genannt. Es entsteht dabei eine Vernetzung (= Watercluster) zwischen den einzelnen Wassermolekülen. In die dabei entstandenen Lücken können nun freie Wassermoleküle eindringen, wodurch sich die Dichte des Wassers auf ein Maximum erhöht.

Im Frühling wird das Oberflächenwasser des Sees erwärmt; erreicht es eine Temperatur von 4 Grad Celsius, beginnt es abzusinken. Dies führt zu einer Umwälzung der gesamten Wassermasse im See. Durch diese sogenannte Frühlingszirkulation stellt sich in allen Schichten des Sees eine gleichmässige Temperatur ein. Zudem steigt im Frühling die Primärproduktion. Dies ist auf die höheren Temperaturen sowie auf die längeren Tage zurückzuführen (Hoffmeister, 2017). Weiter sind auch die Verteilung der Nährstoffe und die Zunahme der Nährstoffkonzentration im ganzen See dafür verantwortlich. Diese sind nun nicht mehr nur in der Zehrschicht, wo sie durch Mineralisation der Bakterien entstehen, sondern gelangen auch in die Nährschicht (Dehn, Naujoks, & Horky, 2011). Dort dienen sie dem Phytoplankton als Nahrung, wodurch mehr Primärproduktion abläuft. Durch die Zunahme des Phytoplanktons nimmt auch die Anzahl Zooplankton und Destruenten zu, wodurch der Nährstoffgehalt im See zuerst abnimmt, da viele Nährstoffe vom Phytoplankton aufgenommen werden. Die Zunahme der Destruenten jedoch führt zu einem vermehrten Abbau des bereits abgestorbenen Phytoplanktons, wobei mehr Ionen freigesetzt werden als bei der Bildung des Phytoplanktons benötigt werden. Dies führt zu einer Zunahme der Nährstoffkonzentration im See (Hoffmeister, 2017).

Im Sommer wird das Oberflächenwasser so stark erwärmt, dass diese Zirkulation nicht mehr stattfindet. Das stark erwärmte Wasser ist so leicht, dass es an der Oberfläche bleibt. Es kommt zu einer Stagnation in folgende drei Schichten: Epilimnion, Hypolimnion und Metalimnion. Sauerstoff ist nur noch in der Nährschicht zu finden auf Grund der dort laufenden Fotosynthese. Der Nährstoffgehalt ist in der Zehrschicht am höchsten, da dort die Destruenten totes Material abbauen. Die Temperatur und die Lichtdurchflutung des Sees erreichen im Sommer ihr Maximum und damit verbunden auch die Photosyntheserate.

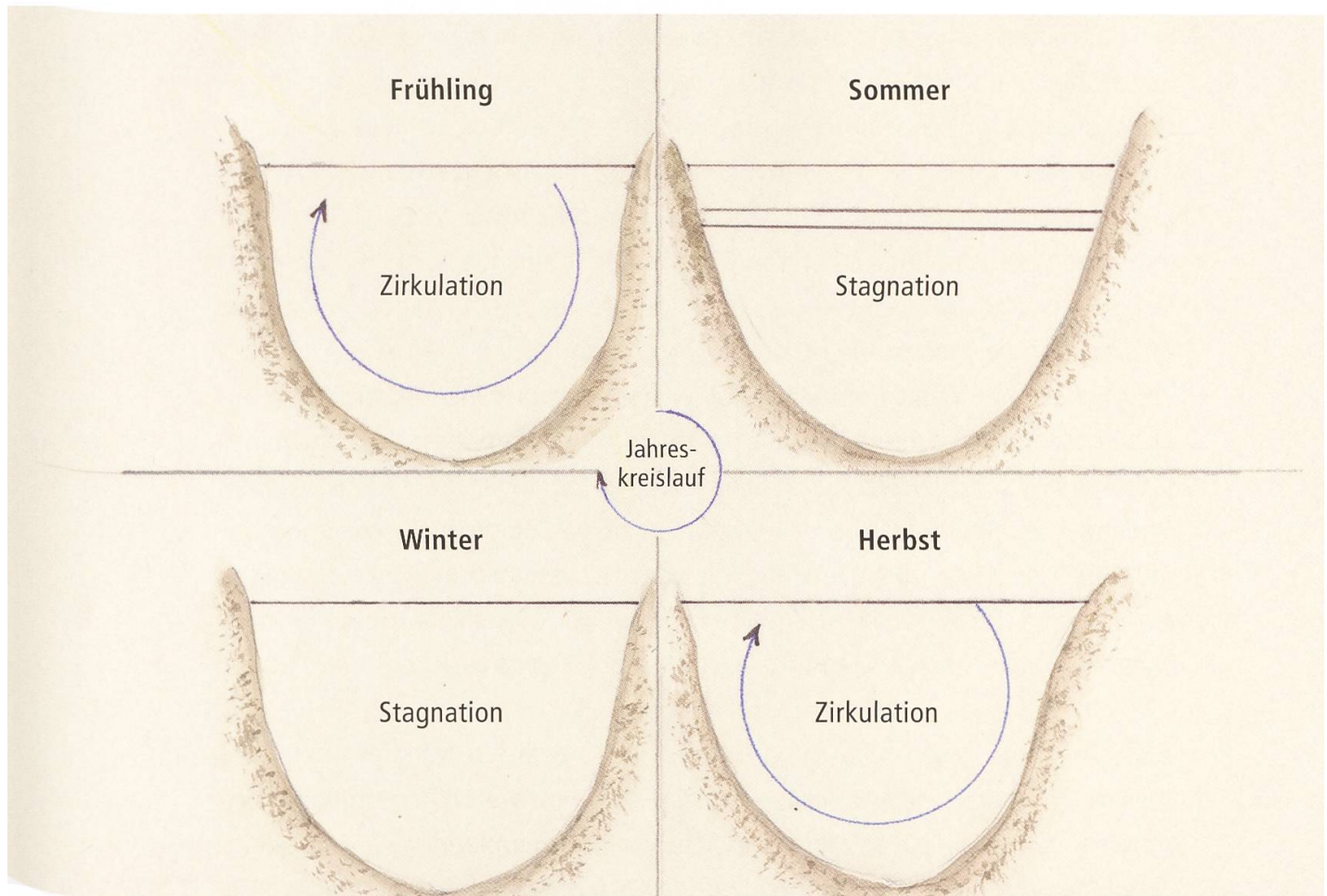


Abb. 2: Jahreszirkulation eines oligotrophen Sees

Im Herbst kühlt sich das Oberflächenwasser wieder ab, was die Zirkulation des Wassers erneut ankurbelt. Sauerstoff und Nährstoffe werden im See verteilt und aufgrund der kürzer werdenden Tage erfolgt weniger Primärproduktion. Somit erhöht sich auch der Phosphat- und Nitratgehalt wieder. Die Zahl der Organismen nimmt ab, worauf weniger Sauerstoff gezehrt wird.

Im Winter kühlt sich das Oberflächenwasser so stark ab, dass es wiederum zu einer Stagnation kommt. Das Wasser mit einer Temperatur von 4 Grad Celsius befindet sich am Seegrund und an der Oberfläche liegt allenfalls eine Eisschicht. Die Anzahl Lebewesen erreicht ein Minimum, der Nährstoffgehalt (Phosphat- und Nitratkonzentration) ein Maximum, da kaum noch an den Nährstoffen gezehrt wird (Hoffmeister, 2017).

2.3 Plankton

Als Plankton werden alle Organismen bezeichnet, welche im Wasser schweben und sich nicht gegen Strömungen wehren können. Das Wort Plankton stammt

aus dem Griechischen und bedeutet soviel wie «das Schwebende» (Steinmann, 2016). Der geringe Nährstoffgehalt macht sich beim Vorkommen von Phyto- und Zooplankton in einem oligotrophen See bemerkbar. Es liegt zwar eine grosse Artenvielfalt vor, jedoch wird jede Art nur von einer geringen Anzahl Individuen vertreten.

In einem oligotrophen See können Organismen leben, die auf einen konstanten Sauerstoffgehalt angewiesen sind. Auf Grund der wenigen Nährstoffe erfolgt nicht viel Primärproduktion bzw. Algenproduktion. Sterben diese Algen ab, entsteht nur wenig totes Material, welches von aeroben Destruenten abgebaut wird. Die Sauerstoffzehrung durch Destruenten ist also auch beschränkt. Dies führt dazu, dass der Sauerstoffgehalt in den verschiedenen Schichten des Sees relativ konstant ist (Schmidt, 1983). Da die Erscheinung von Pflanzen und Tieren im See stark mit dem Nährstoff- und Sauerstoffgehalt einhergeht, ist die Planktonanalyse ein guter Indikator für den ökologischen Zustand eines Sees (AWA Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, 2017).

2.3.1 Phytoplankton

Als Phytoplankton werden die in einem See vorkommenden, freischwebenden Algen bezeichnet. Es gibt zahlreiche Arten und Formen. In der Nahrungskette stehen sie an erster Stelle und bilden den Grundbaustein für all das «höhere Leben» in einem See (Abb. 3).

Die Organismen des Phytoplanktons ernähren sich ausschliesslich autotroph. Dies bedeutet, dass sie aus anorganischen Stoffen organische herstellen, welche ihnen als Energiequelle dienen. Also beispielsweise die Herstellung von Glukose ($C_6H_{12}O_6$) aus Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O). Die dabei entstandene Glukose sowie die Nährstoffionen benötigt das Phytoplankton, um sich zu vermehren. Die Lichtenergie der Sonne wird bei der Fotosynthese in chemische Energie (Glukose) umgewandelt.

2.3.2 Zooplankton

Mit Zooplankton werden kleine und kleinste Tiere bezeichnet, die sich durch ihre Eigenbewegung deutlich vom Phytoplankton unterscheiden. Sie ernähren sich von den Primärproduzenten (Phytoplankton) und bilden selbst die Nahrungsgrundlage für höhere Tiere wie Krebse und Fische (oder auch für andere Zooplanktonarten). So hängen die Artenvielfalt und die Häufigkeit des Zooplanktons eng mit dem Vorkommen des Phytoplanktons zusammen. Da unterschiedliche Arten unterschiedliche Nahrungsnischen besetzen, wird die

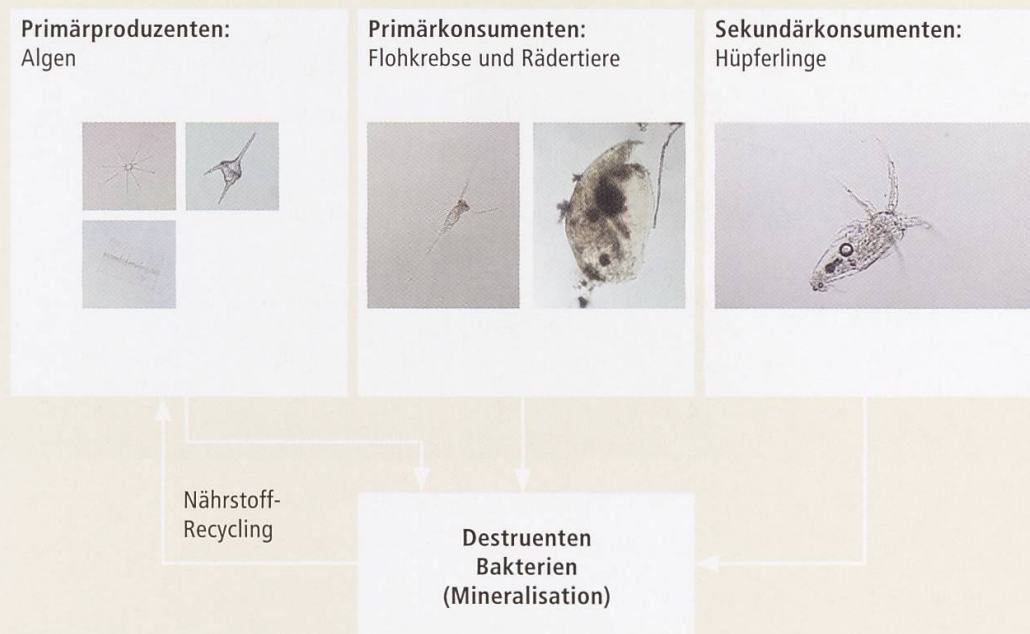


Abb. 3: Nahrungsnetz in einem See

Eigene Aufnahmen von den Planktonprobenahmen im Frühling 2017

Artenvielfalt umso grösser, je breiter das Futterangebot ist. Rädertierchen und Daphnien beispielsweise ernähren sich von Algen. Sie werden als Primärkonsumenten bezeichnet und bilden die Futtergrundlage für die Sekundärkonsumenten (z.B. Hüpfertiere). Stirbt Phyto- oder Zooplankton ab, wird das tote Material von den Destruenten, vor allem Bakterien, aerob oder anaerob (Fäulnis) abgebaut. Dabei entstehen Kohlenstoffdioxid (CO_2), Phosphat (PO_4^{3-}) und Nitrat (NO_3^-) (Schmidt, 1983).

3. Methodik

Die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes, die Temperaturmessungen sowie das Entnehmen der Planktonproben wurden an zwei Probenahmestellen in Brienz identisch durchgeführt. Die erste Probenahmestelle liegt im Westen von Brienz und die zweite liegt direkt neben der Mündung des Glyssibachs (Abb. 4 und 5). Vom 4. April 2017 bis am 13. Juni 2017 wurde jeden Dienstagabend um 19.00 Uhr an den beiden Probenahmestellen der Sauerstoffgehalt bestimmt und die Temperatur gemessen. Jedes zweite Mal wurden zusätzlich Planktonproben entnommen.



Abb. 4: Probenahmestelle Brienz West (links), Probenahmestelle Glyssibach (rechts)
Eigene Aufnahmen vom 28. Juni 2017



Abb. 5: Karte mit Probenahmestellen
(Kartenvorlage zur Verfügung gestellt von Brienz Tourismus)

3.1 Temperatur

Zur Messung der Temperatur wurde das Thermometer für jeweils 20 Sekunden so ins Wasser gehalten, dass der ganze Fühler mit Wasser umgeben war.

3.2 Sauerstoff nach Winkler

Der Sauerstoffgehalt des Wassers wurde mit der Winkler-Methode in Milligramm pro Liter bestimmt. Es wurde ein Set verwendet, in welchem alle Materialien enthalten waren, die zur Sauerstoffbestimmung nach Winkler benötigt werden: eine Glasflasche, vier chemische Lösungen, ein Messgefäß und eine 5 ml-Spritze (Abb. 7).



Abb. 6: Thermometer, Eigene Aufnahme vom 28. Juni 2017

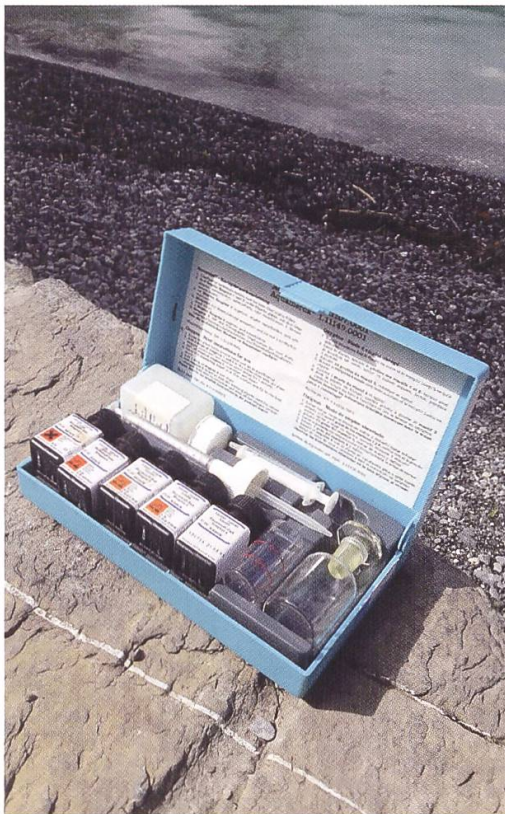


Abb. 7: Set zur Sauerstoffbestimmung nach Winkler: Glasflasche, Pipette, Mangan (II)-Chlorid (MnCl_2) (aq), Natriumhydroxid (NaOH) (aq) mit Kaliumiodid (KI) (aq), Stärkeindikator (I_2), Schwefelsäurelösung (H_2SO_4), Thiosulfat ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) (aq), Messzylinder 10 ml, Eigene Aufnahme vom 27. Mai 2017



Abb. 8: Überspülend mit Wasser gefüllte Glasflasche, Eigene Aufnahme vom 28. Juni 2017

Zu Beginn wurde die Glasflasche unter Wasser gehalten, bis sich keine Blasen mehr bildeten (Abb. 8). Anschliessend wurde sie unter Wasser verschlossen aus dem Wasser gezogen.

In diese überfüllte Glasflasche wurden 5 Tropfen einer Mangan (II)-Chlorid (MnCl_2)-Lösung und 5 Tropfen einer kaliumiodidhaltigen Natriumhydroxid (NaOH)-Lösung gegeben. Durch die Hydroxidionen (OH^-) (aq) des Natriumhydroxids wird die Lösung basisch. Es bildet sich Manganhydroxid (Mn(OH)_2) (aq), welches nun den im Wasser gelösten Sauerstoff fixiert. Es kommt zu einer Ausfällung von Mangan(III)-hydroxid Mn(OH)_3 (s), welches in Form von braunen Partikeln sichtbar wird (Abb. 9).

Zugabe von Mangan(II)-Chlorid und kaliumiodidhaltigem Natriumhydroxid:



Bildung Manganhydroxid



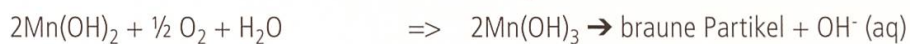
1a. Oxidation des Mangans



1b. Reduktion des Sauerstoffs



1c. Redoxreaktion zur Sauerstofffixierung



Anschliessend wurde Schwefelsäure (H_2SO_4) dazugegeben. Im nun entstandenen sauren Milieu wird Manganhydroxid zu Mangansulfat oxidiert. Dessen Menge ist doppelt so gross wie die Menge des gelösten Sauerstoffs im Wasser; denn ein Manganhydroxidmolekül enthält je ein halbes Sauerstoffmolekül und die Menge Manganhydroxid entspricht auch der Menge Mangansulfat.

2. Zugabe von Schwefelsäure mit verbundener Freigabe von Protonen





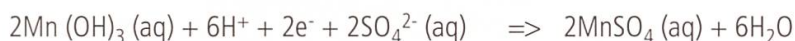
Abb. 9: Ausfällung von Manganhydroxid ($\text{Mn}(\text{OH})_3$ (s))
Eigene Aufnahme vom 28. Juni 2017

Nun wurden 5 ml der Lösung in einem 10 ml Messzylinder abgemessen und mit einem Tropfen des Indikators versetzt. Als Indikator wurde eine Lösung mit Stärke verwendet, da mit Stärke Iodidionen (I^-) (aq) nachgewiesen werden können. Aus Stärke und Iodidionen bildet sich ein violett-blauer Komplex. Die in der Lösung vorhandenen Iodidionen werden bei der Bildung dieses Komplexes (violett/blau) zu elementarem Iod oxidiert (Abb. 10). Die dabei freiwerdenden Elektronen reduzieren das Mangan, wobei aus Mangan (III)-trihydroxid ($\text{Mn}(\text{OH})_3$ (aq)) Mangan (II)-Sulfat (2MnSO_4 (aq)) entsteht. Die Sulfidionen haben eine höhere Affinität an das Mangan als die Hydroxidionen auf Grund ihrer höheren Elektronegativität.

3a. Oxidation von Iodid:



3b. Reduktion von Mangan:



3c. Redoxreaktion bei Zugabe der Schwefelsäure:





Abb. 10: Blaue Lösung nach Zugabe des Indikators (Stärke)
Eigene Aufnahme vom 28. Juni 2017

Die nun reduzierten Mangan-Ionen (Aufnahme von $1e^-$) sind jene, die bei der Reaktion 2 den Sauerstoff fixiert haben und entsprechen somit der Menge des im Wasser gelösten Sauerstoffs. Da nun immer für zwei Mangan(III)-trihydroxid Moleküle ein Komplex mit elementarem Iod entstanden ist, ist es in halb so grosser Menge vorhanden wie Sauerstoff im Wasser gelöst ist.

Abschliessend wird die Lösung mit dem Reduktionsmittel Thiosulfat ($S_2O_3^{2-}$) (aq) titriert. Dabei wird der violett-blaue Komplex mit elementarem Iod wieder zu Iodidionen (I^-) (aq) und farbloser Stärke, wobei es seine blaue Farbe verliert. Da nun aus jedem Komplexmolekül zwei Iodidionen entstehen, entspricht die Menge dieser Ionen der Menge des im Wasser gelösten Sauerstoffs. Beim Farbumschlag kann nun der genaue Sauerstoffgehalt in Milligramm pro Liter abgelesen werden.

4a. Oxidation Thiosulfat:



4b. Reduktion Iod mit Farbumschlag:



4c. Gesamte Redox Titration des Iods mit Thiosulfat:



3.3 Planktonanalyse

Bei der Entnahme der Planktonproben wurde ein Planktonnetz über eine Distanz von zehn Metern durchs Wasser gezogen. Der Abstand zum Ufer wurde so gewählt, dass das Netz vollständig von Wasser umgeben war und den Seegrund nicht berührte. Dies wurde an jeder Probenahmestelle jeweils zwei Mal durchgeführt, so dass sich das unten angedrehte Fläschchen zwei Mal mit Wasser füllte. Diese beiden Proben wurden anschliessend in ein Plastikfläschchen abgefüllt und mit 20 ml Ethanol (70 %) versetzt, um das darin enthaltene Plankton für spätere Untersuchungen zu fixieren.³

Bei der Planktonanalyse handelte es sich um eine qualitative sowie quantitative Bestimmung von Stichproben aus den entnommenen Planktonproben. Pro Planktonprobe wurden drei Stichproben untersucht. Die Stichproben wurden wie folgt zubereitet: Jede Planktonprobe wurde in eine Petrischale gegossen. Aus jeder Petrischale wurden drei Pipetten willkürlich entnommen, auf einen Objektträger gebracht, mit einem Deckgläschen abgedeckt und als eine Stichprobe behandelt. Die Stichprobenplättchen von 4 cm² wurden dann unter dem Mikroskop von oben links nach unten rechts bei 100-facher Vergrösserung vollständig nach Plankton abgesucht. Alle Individuen wurden nach Möglichkeit bestimmt und gezählt und systematisch in die folgenden Gruppen eingeteilt:

Phytoplankton:

Kamm-Kieselalge
Fenster-Kieselalge
Becherbäumchen
Hornalge
Schraubenalge

Zooplankton:

Naupliuslarve
Rädertier
Hüpferling
Farbloser Schwebekrebs
Bachflohkrebs

³ Die Mindestgrösse des gefangenen Planktons wurde durch die einheitliche Maschengrösse des Planktonnetzes bestimmt sowie durch die einheitliche Geschwindigkeit, mit der das Netz durchs Wasser gezogen wurde.

4. Resultate und Auswertungen

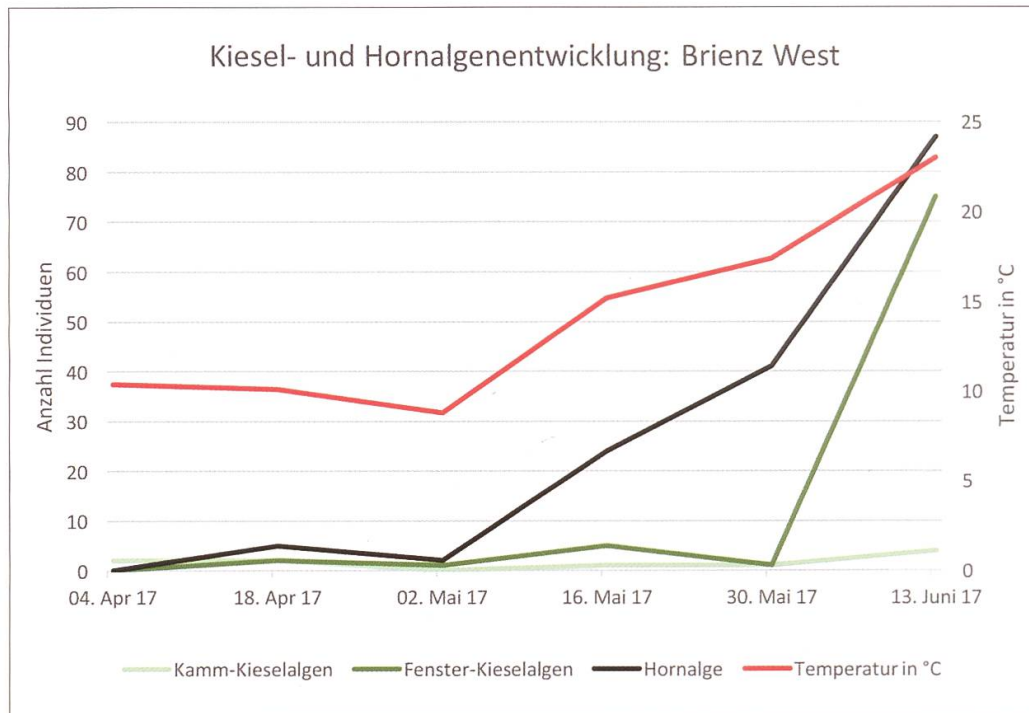


Diagramm 1: Kiesel- und Hornalgenentwicklung in Abhängigkeit der Temperatur, Probenahmestelle Brienz West

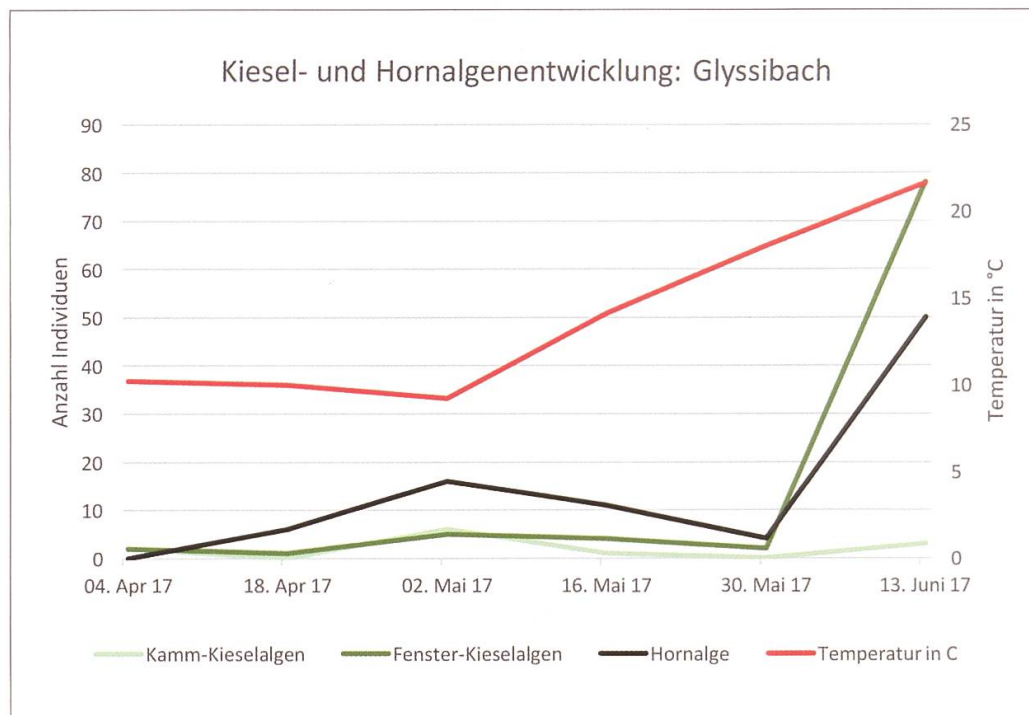


Diagramm 2: Kiesel- und Hornalgenentwicklung in Abhängigkeit der Temperatur, Probenahmestelle Glyssibach

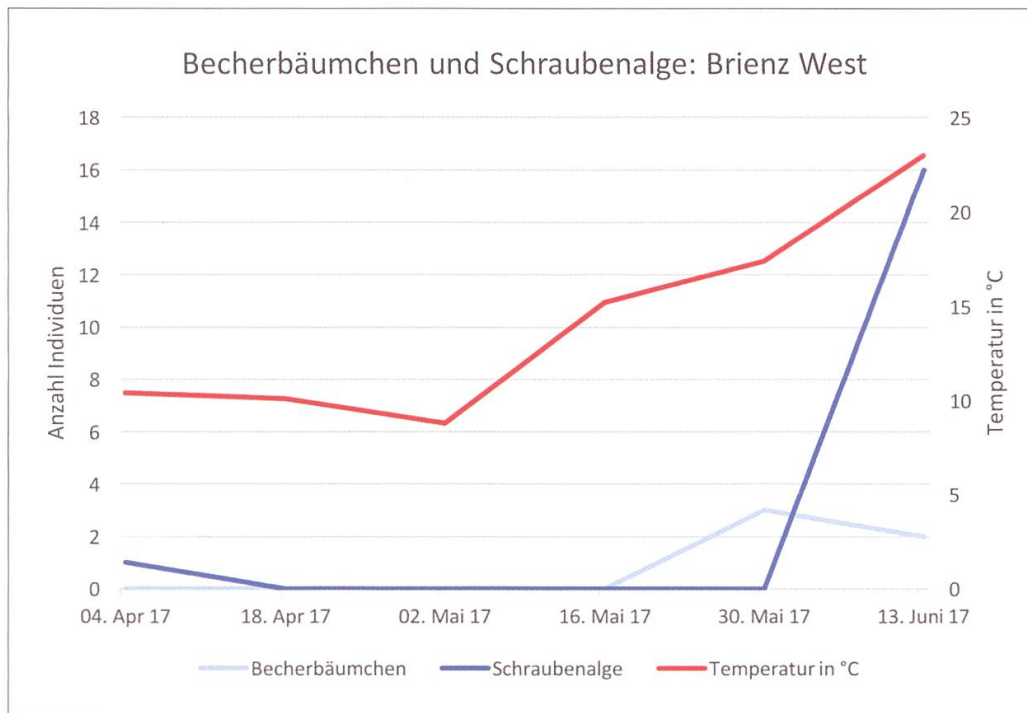


Diagramm 3: Entwicklung des Becherbäumchens und der Schraubenalge in Abhängigkeit der Temperatur, Probenahmestelle Brienz West

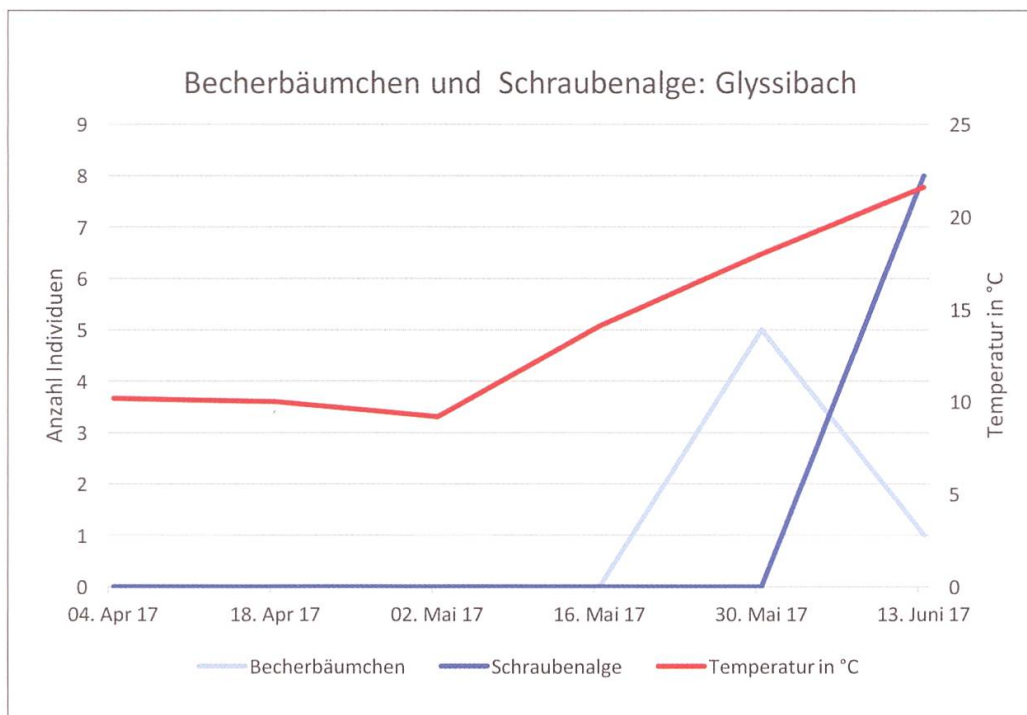


Diagramm 4: Entwicklung des Becherbäumchens und der Schraubenalge in Abhängigkeit der Temperatur, Probenahmestelle Glyssibach

Datum Brienz West	Naupliuslarve	Hüpfertling	Farbloser Schwebekrebs	Bachflohkrebs	Rädertier	Total Individuen
4. April 2017	0	0	0	0	0	0
18. April 2017	2	1	0	0	0	3
2. Mai 2017	0	0	0	0	1	1
16. Mai 2017	6	0	0	0	0	6
30. Mai 2017	5	1	5	6	0	17
13. Juni 2017	0	1	0	2	1	4

Datum Glyssibach	Naupliuslarve	Hüpfertling	Farbloser Schwebekrebs	Bachflohkrebs	Rädertier	Total Individuen
4. April 2017	0	0	0	0	0	0
18. April 2017	2	0	1	0	0	3
2. Mai 2017	2	0	0	0	0	2
16. Mai 2017	0	0	0	0	0	0
30. Mai 2017	1	0	0	0	2	3
13. Juni 2017	2	0	0	7	3	12

Tabelle 1: Zusammenstellung des Zooplanktons beider Probenahmestellen⁴

⁴ Unbestimmte «Sonstige»:

Brienz West: Je 1 am 30. Mai und 13. Juni

Glyssibach: Je 1 am 4. und 18. April sowie 2. und 30. Mai; 2 am 16. Mai

Datum	Brienzen West Anzahl Arten	Glyssibach Anzahl Arten	Temperaturdurchschnitt Probenahmestellen in °C
4. April 2017	1	2	10,3
18. April 2017	3	2	10,05
2. Mai 2017	2	3	9
16. Mai 2017	3	3	14,65
30. Mai 2017	4	3	17,7
13. Juni 2017	5	5	22,3

Tabelle 2: Entwicklung der Artenvielfalt des Phytoplanktons in Abhängigkeit von der Temperatur

Datum	Brienzen West Anzahl Arten	Glyssibach Anzahl Arten	Temperaturdurchschnitt Probenahmestellen in °C
4. April 2017	0	0	10,3
18. April 2017	2	2	10,05
2. Mai 2017	1	1	9
16. Mai 2017	1	0	14,65
30. Mai 2017	4	2	17,7
13. Juni 2017	3	3	22,3

Tabelle 3: Entwicklung der Artenvielfalt des Zooplanktons in Abhängigkeit von der Temperatur

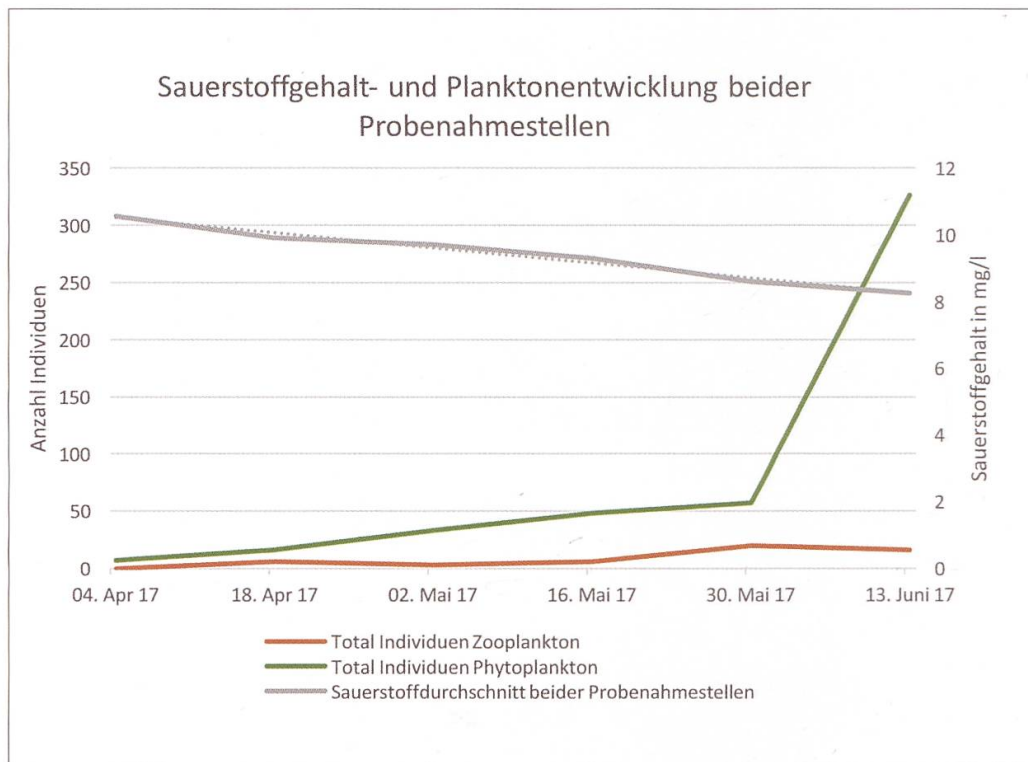


Diagramm 5: Zusammenhang von Sauerstoffgehalt und Plankton an beiden Probenahmestellen

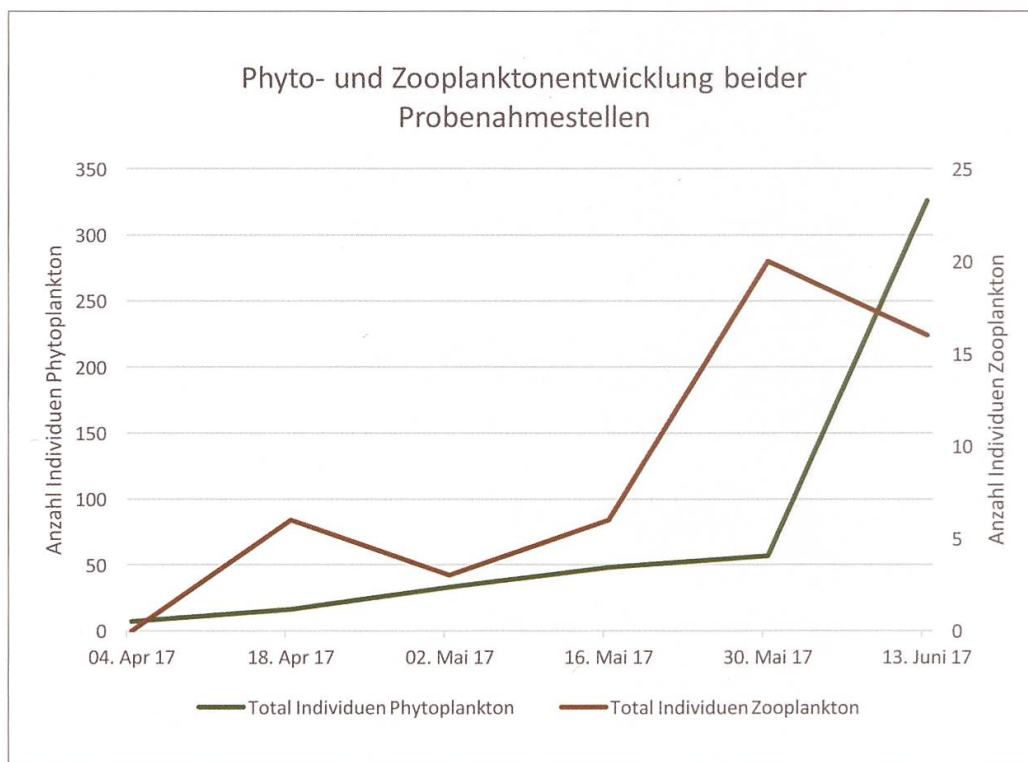


Diagramm 6: Zusammenhang der Phyto- und Zooplanktonentwicklung an beiden Probenahmestellen

5. Diskussion

5.1 Inwiefern hat sich die Anzahl Individuen des Phytoplanktons in Abhängigkeit der Seetemperatur verändert?

Schon beim ersten Blick auf die Diagramme 1–4 ist zu erkennen, dass die Menge des Phytoplanktons mit steigender Temperatur tendenziell zunimmt. Frage 1, «Verändert sich die Anzahl Individuen des Phytoplanktons mit steigender Seetemperatur?» (Einleitung) kann also positiv beantwortet werden: Ja, mit steigender Temperatur des Brienzersees nimmt die Anzahl Individuen des Phytoplanktons zu.

Die erste Hypothese, dass mit steigender Temperatur auch mehr Individuen zu finden sind (Einleitung), wird also durch diese Resultate gestützt.

Eine lineare Zunahme ist bei keiner Art zu erkennen. Betrachtet man jedoch die Temperaturkurve, erkennt man, dass auch die Temperatur nicht linear ansteigt.

Im Zeitraum meiner Probenahmen ist bei jeder Art des Phytoplanktons eine tendenzielle Zunahme der Individuen festzustellen. Dafür könnten folgende Einflüsse verantwortlich sein:

Einerseits trägt das in grösseren Mengen vorhandene Sonnenlicht aufgrund der immer länger werdenden Tage zum Wachstum des Phytoplanktons bei. Sonnenlicht ist die Energiequelle der Fotosynthese, wo die Lichtenergie in chemische Energie (Glukose) umgewandelt wird. Die Energie der entstandenen Glukose benötigt das Phytoplankton wiederum, um sich zu vermehren. Hat es nun mehr Licht, kann auch mehr Fotosynthese betrieben werden (Schmidt, 1983).

Auffällig ist, dass die grösste Zunahme der Algenindividuen bei beiden Probenahmestellen im Zeitraum vom 30. Mai bis am 13. Juni erfolgte. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass in diesem Zeitraum auch die Temperatur rasant von 17,7°C auf 22,3°C gestiegen ist (Tabelle 1).

Zu Beginn meiner Probenahmen, vom 4. April bis am 2. Mai hingegen, sank die Temperatur von 10,3 auf 9°C, was eine schlechte Voraussetzung für ein allfälliges Algenwachstum darstellte. Bei höherer Temperatur erfolgen die bei der Fotosynthese ablaufenden biochemischen Prozesse effizienter, da sich die Moleküle schneller bewegen.

Bei den Kiesel- und Hornalgen ist die Zunahme der Anzahl Individuen während meiner Probenahmen am stärksten (Diagramm 1 und 2). Sie gehören zu den

am meisten verbreiteten Planktonalgen in Süßwassergewässern (Schmidt, 1983). Von April bis Juni durchlaufen beide Arten eine Massenentwicklung, was auch an der stetigen Zunahme im Brienzersee ersichtlich ist: Am 4. April 2017 wurden von keiner jener Arten mehr als fünf Individuen gefunden, während am 30. Juni 2017 zwischen 50 und 87 gezählt wurden.

5.2 Inwiefern hat sich die Anzahl Individuen des Zooplanktons in Abhängigkeit der Seetemperatur verändert?

Beim Betrachten der Tabelle 1 ist ersichtlich, dass die Anzahl Individuen des Zooplanktons mit steigender Seetemperatur insgesamt zugenommen hat. Frage 2 «Verändert sich die Anzahl Individuen des Zooplanktons mit steigender Seetemperatur?» kann also positiv beantwortet werden. Ja, mit steigender Temperatur des Brienzersees erhöht sich die Anzahl Individuen des Zooplanktons.

Die zweite Hypothese, dass die Anzahl Individuen des Zooplanktons mit steigender Seetemperatur zunimmt (Einleitung), wird also durch die Resultate der vorliegenden Arbeit gestützt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass beim Zooplankton keine lineare Zunahme der Anzahl Individuen erfolgte. In der ersten Planktonprobe vom 4. April wurde noch kein Zooplankton gefunden und bei den weiteren Proben bis am 16. Mai wurden nur einige Individuen identifiziert (Tabelle 1). Deutlich zu erkennen ist jedoch, dass in den letzten beiden Probenahmen am 30. Mai und am 13. Juni mit Abstand am meisten Zooplankton gefunden wurde.

Dieses späte Auftreten des Zooplanktons wird verständlich, wenn in Betracht gezogen wird, dass das Phytoplankton die Nahrungsgrundlage des Zooplanktons bildet. Das Zooplankton hat erst zwischen dem 30. Mai und dem 13. Juni deutlich zugenommen, während beim Phytoplankton die Anzahl Individuen bereits ab dem 2. Mai 2017 gestiegen ist (Diagramm 6). Eine Erklärung für die zeitliche Verschiebung der Entwicklung des Phyto- und Zooplanktons kann in der Nahrungskette eines jeden Ökosystems gefunden werden. Das Phytoplankton mit den Algen bildet die Gruppe der Primärproduzenten und somit die Basis der Nahrungskette. Die Ernährung des Phytoplanktons erfolgt autotroph, ohne auf andere Organismen angewiesen zu sein, indem durch das Betreiben von Fotosynthese Sonnenenergie in chemische Energie umgewandelt wird. Diese chemische Energie in Form von Glukose dient dem Phytoplankton als Energiequelle zur Vermehrung. Die Individuen des Zooplanktons gehören zu den Primär- und Sekundärkonsumenten und bilden somit die zweite

und dritte Ebene der Nahrungskette in einem Ökosystem. Ihre Nahrung besteht zum grössten Teil aus der Biomasse des Phytoplanktons. Daraus ergibt sich, dass erst Zooplankton entstehen kann, wenn ausreichend Phytoplankton vorhanden ist, was auch die zeitliche Verschiebung des Auftretens dieser beiden Gruppen erklärt (Schmidt, 1983).

Probennahmestelle Brienz West		
Datum	Sauerstoff in mg/l	Temperatur in °C
4. April 2017	10,4	10,4
11. April 2017	10,6	9,4
18. April 2017	10	10,1
25. April 2017	9,8	10,4
2. Mai 2017	9,6	8,8
9. Mai 2017	9,4	10,5
16. Mai 2017	9	15,2
23. Mai 2017	8,9	14
30. Mai 2017	8,6	17,4
6. Juni 2017	9,2	13,5
13. Juni 2017	8	23

Tabelle 4: Alle Sauerstoff- und Temperaturwerte der Probenahmestelle Brienz West

Probenahmestelle Glyssibach		
Datum	Sauerstoff in mg/l	Temperatur in °C
4. April 2017	10,7	10,2
11. April 2017	10,9	9,5
18. April 2017	9,8	10
25. April 2017	9,9	10,3
2. Mai 2017	9,8	9,2
9. Mai 2017	9,5	10,7
16. Mai 2017	9,6	14,1
23. Mai 2017	8	15,3
30. Mai 2017	8,6	18
6. Juni 2017	9,1	13,8
13. Juni 2017	8,5	21,6

Tabelle 5: Alle Sauerstoff- und Temperaturwerte der Probenahmestelle Glyssibach

5.3 Wie hat sich die Artenvielfalt des Phytoplanktons in Abhängigkeit der Seetemperatur verhalten?

Betrachtet man die Tabelle 2, so ist ersichtlich, dass die Anzahl Arten des Phytoplanktons an beiden Probenahmestellen zugenommen hat. Somit wird Frage 2 «Wie verhält sich die Artenvielfalt des Phytoplanktons mit steigender Seetemperatur?» (Einleitung) beantwortet.

Die zweite Hypothese, dass die Artenvielfalt mit zunehmender Temperatur steigt (Einleitung), wird durch die Daten der vorliegenden Arbeit gestützt (Tabelle 2).

Die Kiesel- und die Hornalgen waren die einzigen Algen, welche schon zu Beginn meiner Probenahmen regelmässig aufgetreten sind. Mögliche Erklärungen für dieses regelmässige Auftreten dieser beiden Artengruppen sind folgende:

Durch ihre harten, mit Kieselsäure gefüllten Zellwände können Kieselalgen von Mikroorganismen nicht so leicht abgebaut werden (Schwab, 1995). Also kann es sein, dass die Kieselalgen, welche in den ersten Proben gefunden wurden, noch von einem vorgängigen Jahr stammten.

Hornalgen gehören zu den Panzergeisselalgen und besitzen einen Panzer aus Zelluloseplättchen, welche in die Zellmembran eingebettet liegen. Das erschwert deren Abbau durch Mikroorganismen, wodurch sie einen Winter ohne Probleme überleben und im Frühjahr noch gefunden werden können, bevor die Primärproduktion in einem See beginnt (Schwab, 1995). So besteht die Möglichkeit, dass die wenigen Hornalgen in den Proben bis am 2. Mai noch vom Vorjahr stammen. Der Anstieg der Anzahl Individuen vom 2. Mai bis am 13. Juni wird dann mit der Zunahme der Seetemperatur in diesem Zeitfenster begründet (Diagramm 1 und 2). Dieser Temperaturanstieg vom 2. Mai bis am 13. Juni wird mit einer erhöhten Einstrahlung von Sonnenlicht erklärt: Die erhöhte Lichtdurchflutung ermöglichte eine höhere Fotosyntheserate, was wiederum mehr Phytoplankton entstehen liess.

Die Artenzunahme erfolgt vor allem durch das Auftreten des Becherbäumchens und der Schraubenalge, deren Entwicklung auf den Diagrammen 3 und 4 dargestellt ist. Auffällig ist, dass das Becherbäumchen erst ab dem 16. Mai gefunden wurde. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass das Becherbäumchen zu den Goldalgen gehört. Wird den Goldalgen nicht ausreichend Sonnenlicht zur Verfügung gestellt, beginnen sie sich zusätzlich von tierischen Lebewesen, also heterotroph, zu ernähren. Während der Nacht, bei vollständiger Abwesenheit des Sonnenlichts, stellen sie komplett auf eine hetero-

Datum Brienz West	Kammkieselalge	Fenster- kieselalge	Becherbäumchen	Hornalge	Schraubenalge	Total Individuen
4. April 2017	2	0	0	0	0	2
18. April 2017	2	2	0	5	0	9
2. Mai 2017	0	1	0	2	0	3
16. Mai 2017	1	5	0	24	0	30
30. Mai 2017	1	1	3	41	0	46
13. Juni 2017	4	75	2	87	16	184

Tabelle 6: Alle gezählten Individuen der Phytoplanktonanalyse, Probenahmestelle Brienz West

Datum Glyssibach	Kammkieselalge	Fenster- kieselalge	Becherbäumchen	Hornalge	Schraubenalge	Total Individuen
4. April 2017	2	2	0	0	0	4
18. April 2017	0	1	0	6	0	7
2. Mai 2017	6	5	0	16	0	27
16. Mai 2017	1	4	0	11	0	16
30. Mai 2017	0	2	5	4	0	11
13. Juni 2017	3	78	1	50	8	140

Tabelle 7: Alle gezählten Individuen der Phytoplanktonanalyse, Probenahmestelle Glyssibach

trope Ernährung um und fressen nur Kleinstlebewesen und Algen: Sie umschliessen dabei die Nahrungsteilchen mit Scheinfüsschen und nehmen sie in ihre Vakuolen auf, wo sie verdaut werden.

Zusätzlich ernähren sich Becherbäumchen von kleinen Algen und Bakterien. Da diese Algen teilweise dieselben Nährstoffe wie Becherbäumchen selbst fressen würden, sind sie für das ökologische Gleichgewicht in einem See von grosser Bedeutung (Schwab, 1995).

Da bis am 2. Mai die Seetemperatur abnahm – unter anderem, weil nicht viel Sonnenlicht vorhanden war – ernährten sich die Becherbäumchen mit grösster Wahrscheinlichkeit zu einem Teil heterotroph. Da nun aber das Zooplankton bis am 2. Mai nicht wirklich vorhanden war (Tabelle 1) hatte das Becherbäumchen nicht ausreichend Nahrung und konnte sich nicht vermehren.

Auch die Schraubenalge wurde an beiden Probenahmestellen erst in der Probe vom 13. Juni gefunden. Eine mögliche Ursache für ihr spätes Auftreten ist, dass sie nährstoffreiches Wasser sowie hohe Temperaturen bevorzugt und sich daher oft erst in den Sommermonaten massenhaft entwickelt (LERNHELPER, 2010). Eine mögliche Begründung für ihr so plötzliches Auftreten in grosser Menge ist, dass der See zwischen dem 30. Mai und dem 13. Juni reicher an Nährstoffen wurde.

Die Nährstoffkonzentration erhöhte sich einerseits aufgrund der Massenzunahme des Phytoplanktons. Durch die Massenzunahme des Phytoplanktons nimmt nämlich auch die Masse des Zooplanktons sowie jene der Destruenten zu. Das nun in immer grösserer Anzahl vorkommende Phytoplankton wird, nachdem es abgestorben ist, von den Destruenten abgebaut. Dabei werden mehr Nährstoffe freigesetzt als zur Bildung von neuem Phytoplankton verwendet werden. Da nun die Schraubenalge nährstoffreiches Wasser bevorzugt, konnte sie sich aufgrund dieser Zunahme der Nährstoffkonzentration zu vermehren beginnen (Schmidt, 1983).

5.4 Wie hat sich die Artenvielfalt des Zooplanktons in Abhängigkeit der Seetemperatur verhalten?

Auf der Tabelle 3 ist deutlich zu erkennen, dass die Artenvielfalt des Zooplanktons an beiden Probenahmestellen zugenommen hat. Dies lässt Frage 4 «Wie verhält sich die Artenvielfalt des Zooplanktons mit steigender Seetemperatur?» (Einleitung) beantworten.

Die vierte Hypothese, dass die Artenvielfalt des Zooplanktons mit zunehmender Temperatur steigt (Einleitung), wird durch die Daten somit ebenfalls gestützt (Tabelle 3).

Beim Betrachten der Tabelle 3 ist auffällig, dass bei den ersten vier Probenahmen vom 4. April bis am 30. Mai ausser einem Hüpferling, einem Rädertier und einem Farblosen Schwebekrebs hauptsächlich Naupliuslarven zu finden waren. Erst ab dem 30. Mai sind Hüpferlinge, farblose Schwebekrebse sowie Bachflohkrebse mehrfach vorgekommen.

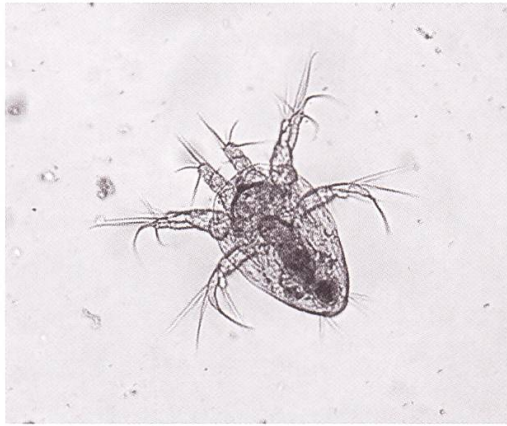


Abb. 11: Naupliuslarve

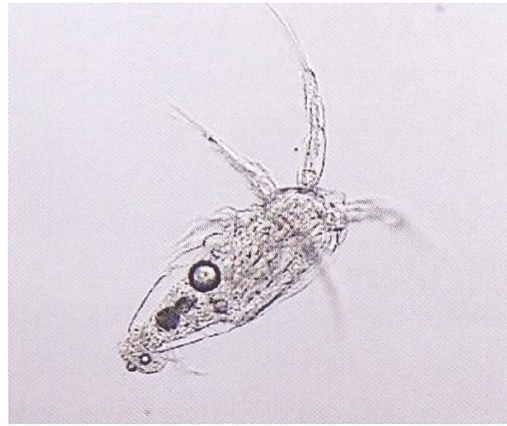


Abb. 12: Hüpferling



Abb. 13: Naupliuslarve nach Häutung



Abb. 14: Farbloser Schwebekrebs

Eine mögliche Begründung für dieses zu Beginn meiner Probenahmen häufige Auftreten der Naupliuslarve ist, dass «Nauplius» nicht eine bestimmte Zooplanktonart bezeichnet, sondern diverse Larven verschiedener Kleinkrebsarten. Darunter auch die Larven der in meinen Proben gefundenen Hüpferlinge, der Farblosen Schwebekrebse und der Bachflohkrebse.⁵ Nauplien haben meist eine runde Form und besitzen drei Gliedmassenpaare, welche ihnen zum Schwimmen dienen. Diese Gliedmassenpaare entwickeln sich beim Durchlaufen einiger Häutungen zu Antennen, wie sie bei dem Farblosen Schwebekrebs zu erkennen sind. Diese Antennen dienen bei den später auftretenden Farblosen Schwebekrebsen als Gleichgewichtsorgan. Somit wird vermutet, dass die zu Beginn meiner Probenahmen gefunden Naupliuslarven sich entwickelnde Hüpferlinge, Farblose Schwebekrebse und Bachflohkrebse sind, die in den nächsten Monaten noch einige Häutungen durchlaufen hätten. Der farblose

⁵ Bachflohkrebse leben eigentlich im Benthos.

Schwebekrebs, der Hüpferling sowie der Bachflohkrebs sind Zooplanktonarten, welche typisch sind für nährstoffarme Gewässer. Somit genügt ihnen das geringe Angebot an Algen im Brienzersee (Schwab, 1995).

5.5 Phyto- und Zooplankton in Abhängigkeit vom Sauerstoff

Die in Diagramm 5 veranschaulichten Resultate zeigen eine deutliche Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Zeitraum vom 4. April bis am 13. Juni, während die Anzahl Individuen des Phyto- und Zooplanktons in diesem Zeitfenster tendenziell zunimmt.

Zwischen dem 16. Mai und dem 13. Juni ist die stärkste Abnahme des Sauerstoffgehaltes festzustellen: Bei der Probenahmestelle Brienzen West ist er in diesem Zeitfenster von 9 auf 8 mg/l gesunken und bei der Probenahmestelle Glyssibach von 9,6 auf 8,5 mg/l.

Eine mögliche Erklärung für diese Sauerstoffabnahme kann beim Beachten der ständigen Wechselwirkung zwischen dem Plankton und dem im Wasser gelösten Sauerstoff gefunden werden:

Durch den im Frühling erhöhten Nährstoffgehalt im See vermehrt sich das Phytoplankton und betreibt Fotosynthese, wobei Sauerstoff freigesetzt wird. Dieses entstandene Phytoplankton bildet die Nahrungsgrundlage für die höheren Organismen wie die Konsumenten, welche Sauerstoff zehren. Diese Entwicklung kann auch beim Betrachten meiner Resultate festgestellt werden: Genau in jenem Zeitfenster mit der stärksten Abnahme des Sauerstoffgehaltes (16. Mai bis 13. Juni) ist die Anzahl Individuen des Zooplanktons rasant angestiegen (Diagramm 6). Diese Zunahme des Zooplanktons erhöhte nun die Sauerstoffzehrung, womit die Abnahme des Sauerstoffgehaltes erklärt werden kann.

Weiter ist diese Abnahme des Sauerstoffgehaltes bei steigender Seetemperatur auch physikalisch erklärbar: Die Sauerstoffsättigung eines Sees nimmt laut dem physikalischen Gesetz von Henry mit zunehmender Seetemperatur ab, da die Löslichkeit von Sauerstoff mit zunehmender Wassertemperatur schlechter wird (Schubert, 1972).

5.6 Vergleich der Probenahmestellen in Bezug auf die Anzahl Individuen des Phytoplanktons

Im grossen und Ganzen sind keine grossen Unterschiede bei den Resultaten der beiden Probenahmestellen festzustellen. Auffallend ist, dass die Zunahme der Hornalgen bei der Probenahmestelle Glyssibach weniger linear erfolgt als

jene bei der Probenahmestelle Brienz West. Dies ist jedoch auf die Ungenauigkeit beim Arbeiten mit Stichproben zurückzuführen.

Ein Einfluss des in den See mündenden Glyssibachs bei der Probenahmestelle Glyssibach ist bei den Resultaten kaum festzustellen.

5.7 Langfristigkeit

Die Proben wurden vom April bis im Juni über eine Zeitdauer von zehn Wochen durchgeführt. Für den von mir gewählten Zeitraum sowie für die Häufigkeit der Probenahmen sind die Resultate der vorliegenden Arbeit sehr zufriedenstellend. Besonders erfreulich war das Auftreten der Kieselalgen. Sie sind in beinahe jeder Probenahme vom 4. April bis am 13. Juni vorgekommen und wiesen dabei eine stetige Zunahme an Individuen auf (Diagramm 1 und 2).

Es wäre interessant, eine Ausdehnung dieses Zeitraums vorzunehmen, indem man während des ganzen Sommers bis in den Herbst weiterhin Proben entnehmen würde. Dies würde zeigen, inwiefern die Sommerstagnation des Sees einen Einfluss auf die Planktonentwicklung sowie auf den Sauerstoffgehalt des Sees hat.

Zudem wäre interessant zu beobachten, ob sich die Naupliuslarven zu Hüpferlingen und Farblosen Schwebekrebsen entwickelten und ob eine damit verbundene Abnahme der Naupliuslarven ersichtlich wäre, während die Anzahl Individuen der Hüpferlinge und der Farblosen Schwebekrebse zunimmt.

Eine ebenfalls interessante Frage, welche damit beantwortet werden könnte, ist, ab welchem Zeitpunkt die Menge des Planktons wieder abzunehmen beginnt.

5.8 Fehlerquellen

5.8.1 Probenahmen

Verbesserungen könnten bei dieser Arbeit bei den Probenahmen vorgenommen werden.

Bei den Planktonprobenahmen wurde das Volumen der Probenahme in dem unten angehängten Fläschchen nicht überprüft. Das Volumen des dazugegebenen Ethanol betrug jeweils genau 20 ml. Dies führte nun zu einer ungleichen Verdünnung der einzelnen Planktonproben. Um noch präzisere Resultate zu erhalten, müsste das Volumen der Probenahmen jeweils in einem Messzylinder abgemessen werden und erst dann mit 20 ml Ethanol versetzt werden.

Der Sauerstoffgehalt des Wassers wurde mit der Winkler Methode bestimmt. Auch hier besteht das Risiko, dass der Sauerstoffgehalt um einige ml/g daneben abgelesen wurde, da der genaue Zeitpunkt des Farbumschlags bei der Oxidation des Iods ($I_2 + 2e^- \Rightarrow 2I^-$) schwierig zu identifizieren war. Um die Genauigkeit der Resultate zu erhöhen, könnte als Ergänzung zur Winkler Methode eine Messung des Sauerstoffgehaltes mit einer Sonde durchgeführt werden, oder man könnte mehrere Proben nehmen, messen und den Mittelwert nehmen.

5.8.2 Planktonbestimmung

Zur Planktonbestimmung wurden jedem Plastikfläschchen mit einer Probenahme drei Stichproben entnommen. Dabei wurde jedoch das mit der Pipette aufgezogene Volumen nicht abgemessen. Um die Resultate aussagekräftiger zu machen, müsste auf jeden Objektträger dasselbe Volumen gegeben werden. Dies könnte erreicht werden, indem man eine Pipette, bei der man das aufgezogene Volumen ablesen kann, verwenden würde. Weiter würde eine grössere Anzahl Stichproben, beispielsweise 10 pro Probenahme anstatt 3, zu aussagekräftigeren Resultaten führen. Oder man könnte noch mehr Sammelproben nehmen.

Die Bestimmung des Planktons unter dem Mikroskop forderte eine hohe Konzentration. Oft kam es vor, dass ich am Abend vor dem Schlafengehen noch eine Planktonprobe unter die Lupe nahm. Ich war müde und somit war die Konzentration nicht immer gleich ausgeprägt.

Zusätzlich besteht keine Garantie, dass ich immer alle Planktonobjekte auch als solche erkannt habe und die Bestimmung immer korrekt war. Zu Beginn der Planktonbestimmungen war ich noch sehr unerfahren und teilweise unsicher bei der Bestimmung eines Objekts. Die mit der Zeit erarbeitete Erfahrung führte möglicherweise gegen Ende der Planktonbestimmungen zu präziseren Resultaten.

5.9 Ausblick

Es wäre interessant, meine Untersuchungen noch mit der jeweiligen Bestimmung der im Wasser vorhandenen Nährstoffkonzentration zu ergänzen. Dies würde bei der Analyse der Planktonentwicklung einen interessanten Diskussionspunkt darstellen, da beispielsweise bei einer erhöhten Nährstoffkonzentration mehr Phytoplankton entsteht. Zudem kann eine erhöhte Nährstoff-

konzentration auch bedeuten, dass bereits Phytoplankton entstanden ist und von den Destruenten abgebaut wurde, welche dadurch Nährstoffionen freigegeben haben.

Auch interessant zu untersuchen wäre der Einfluss der Tageszeit auf den Sauerstoffgehalt im See. Fotosynthese wird vor allem im Verlaufe des Tages betrieben, wenn dem Phytoplankton Sonnenlicht zur Verfügung steht. In der Nacht bei fehlendem Sonnenlicht stellen die Pflanzen auf Zellatmung um, wofür Sauerstoff benötigt und Kohlenstoffdioxid abgegeben wird. Nun wäre interessant zu sehen, ob und wie sich der Sauerstoffgehalt über Nacht jeweils verändert. So könnten zusätzlich zum Dienstagabend jeweils am Mittwochmorgen identische Messungen des Sauerstoffgehaltes durchgeführt werden.

Weiter könnte der Abstand zwischen den Planktonprobenahmen von 14 auf 7 Tage reduziert werden, um ein präziseres Bild vom Verlauf und vor allem von den Schwankungen zu erhalten.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, inwiefern sich die Menge der Individuen sowie die Artenvielfalt des Planktons mit verändernder Temperatur und veränderndem Sauerstoffgehalt verhalten. Beide Fragen wurden für das Phyto- sowie für das Zooplankton beantwortet.

Es wurde erwartet, dass sich die Anzahl Individuen des Phyto- und des Zooplanktons mit steigender Seetemperatur erhöht. Auch bei der Artenvielfalt des Planktons wurde im Laufe des Frühlings eine Zunahme erwartet.

Methode:

Zur Umsetzung dieser Untersuchungen wurden dem Brienzersee alle 14 Tage an jeweils zwei Probenahmestellen Planktonproben entnommen. Anschließend wurden Stichproben davon unter dem Mikroskop nach Phyto- und Zooplankton abgesucht.

Der Sauerstoffgehalt wurde alle 14 Tage mit der Winkler Methode bestimmt und die Temperatur mit einem Thermometer gemessen.

Resultate:

Die Anzahl Individuen des gefundenen Phytoplanktons erhöhte sich von 7 bei den Probenahmen vom 4. April 2017 auf 326 bei den Probenahmen vom 13. Juni 2017.

Beim Zooplankton erhöhte sich die Anzahl Individuen im selben Zeitfenster von 1 auf 17.

Somit kann die Frage, ob sich die Anzahl Individuen des Planktons mit steigender Seetemperatur zugenommen hat, positiv beantwortet werden.

Beim Phytoplankton erhöhte sich die Anzahl Arten vom 4. April 2017 bis am 13. Juni 2017 bei der Probenahmestelle Brienz West von 2 auf 5 und bei der Probenahmestelle Glyssibach von 2 auf 6.

Zooplankton wurde bei der ersten Probenahme keines gefunden, bei der letzten jedoch konnten bei der Probenahmestelle Brienz West 4 Individuen und bei der Probenahmestelle Glyssibach 12 erkannt werden.

Die Frage, ob sich die Artenvielfalt zunehmender Seetemperatur verändert, kann somit ebenfalls positiv beantwortet werden.

Abschliessend kann gesagt werden, dass sich die Masse des Planktons im Brienzersee mit zunehmender Temperatur erhöht.

7. Dank

An dieser Stelle möchte ich ein grosses Dankeschön aussprechen an alle, die mich beim Arbeitsprozess dieser Maturarbeit unterstützt haben. Ohne ihre Hilfe wäre die Arbeit nicht auf diese Art und Weise durchführbar gewesen.

An erster Stelle bedanke ich mich herzlich bei Frau Anne Pickhardt. Sie begleitete mich während des ganzen Arbeitsprozesses mit stetiger Motivation und viel Engagement. Ich schätzte ihre Unterstützung sehr. Auch Herrn Stephan Juchler, meiner weiteren Betreuungslehrkraft, möchte ich herzlich für seine Unterstützung danken, die besonders im chemischen Teil meiner Arbeit sehr hilfreich war.

Ebenfalls möchte ich Herrn Dr. Markus Zeh und Frau Karin Guthruf herzlich danken. Als Gewässerökologen des kantonalen Amtes für Wasser und Abfall waren sie jederzeit bereit, mir mit grossem Interesse Fragen zu meinen Untersuchungen zu beantworten. Zudem stellten sie mir wertvolle Literatur in Form von bereits durchgeführten ökologischen Untersuchungen am Brienzersee zur Verfügung.

Zum Schluss möchte ich mich bei meinen Eltern Annette und Christoph Jakob von Herzen bedanken. Sie unterstützten mich wo sie nur konnten. Einerseits führen sie mich jeden Dienstag zu den beiden Probenahmestellen, wo ich auch während dem Entnehmen der Proben teilweise dankbar war um eine zusätzliche Hand. Weiter halfen sie mir beim Korrekturlesen und motivierten mich mit viel Herzblut, wenn ich mit meinem Latein einmal am Ende war.

Ein herzliches Dankeschön an alle!

8. Quellenverzeichnis

8.1 Internetverzeichnis

I1. Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern (2009)

Plankton – Ein See voller Leben

http://www.fischweg.ch/fileadmin/user_upload/5Lernen/2.4_GBL_Plankton_-_ein_See_voller_Leben.pdf. Zugriff: 27. Juli 2017

I2. Biotische & Abiotische Umweltfaktoren – Überblick (2016)

<https://www.lern-online.net/biologie/oekologie/umweltfaktoren/biotischeabiotische-umweltfaktoren-ueberblick>. Zugriff: 29. Juni 2017

I3. Dipl.-Geogr. Christiane Martin (2001), Autotrophe Organismen

<http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/autotrophe-organismen/679>
Zugriff: 27. Juni 2017

I4. Dipl.-Geogr. Christiane Martin (2000), Eutropher See

<http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/eutropher-see/4427>
Zugriff: 27. Juni 2017

I5. Elke Brechner (2001), Ökosystem

<http://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/oekosystem/8357>
Zugriff: 17. Juni 2017

16. Hoffmeister.it (2009), Ökosystem See und Weiher
https://hoffmeister.it/biologie/04.11oekosystem_see&weiher.pdf
Zugriff: 10. Juni 2017
17. Jahresverlauf des Planktons (2011)
<http://www.ikzm-d.de/main.php?page=435,7756>. Zugriff: 29. Juni 2017
18. Lernhelfer.de (2010), Schraubenalge, Spirogyra
<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie/artikel/schraubenalge-spirogyra>. Zugriff: 7. August 2017
19. Markus Zeh (2006), Der Brienzersee – Ein Ökosystem unter der Lupe
<http://www.wsl.ch/info/mitarbeitende/rellstab/Brienzersee-Broschuere.pdf>
Zugriff: 24. April 2017
110. Harriet Horky, Lisa Dehn und Anna-Stina Naujoks (2011),
Jahresverlauf des Planktons
<http://www.ikzm-d.de/main.php?page=435,7756>. Zugriff: 29. Juni 2017
111. T. Dombeck (2011), Picoplankton
<http://www.themenpark-umwelt.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/31506/>
Zugriff: 27. Juni 2017
112. Patrick Steinmann, Plankton
http://www.psteinmann.net/bio_plankton.html. Zugriff: 27. Juni 2017

8.2 Literaturverzeichnis

- L1. Alfred Schubert «Praxis der Süßwasserbiologie». Volkseigener Verlag
Berlin Auflage 2 1972, Seite 15 – 16
- L2. Eberhard Schmidt «Ökosystem See», Quelle & Meyer Verlag Heidelberg,
Auflage 4 1983, Seite 90 – 103
- L3. Heinrich Schwab, «Süßwassertiere – Ein ökologisches
Bestimmungsbuch», Ernst Klett Verlag, Auflage 1 1995, Seite 246 – 253