

Hydrologische Verhältnisse am Baikalsee

von Johannes Polz, Universität München¹

1.1. Entstehung des Baikals

Ursache für die Entstehung des Baikalsees ist ein kontinentaler Grabenbruch, auch Kryptodepression oder Riftzone genannt. Mit einer Tiefe von acht bis neun Kilometern gehört das Baikalrift zu den tiefsten aktiven Gräben der Erde, und es wächst weiter mit einer Geschwindigkeit von 2 cm a^{-1} . Sieben Kilometer dick sind dabei allein die Sedimentschichten, die sich im Laufe der Jahrtausende im Baikalsee angesammelt haben. Zu einem großen Teil stammen die Ablagerungen aus der Fracht des wichtigsten Zuflusses des Baikals, der Selenga. Unbeeinflusst von marinen Systemen und seit 23 Millionen Jahren frei von Vergletscherung ist hier ein ideales Untersuchungsobjekt für tektonische und klimatische Veränderungen in der Erdgeschichte entstanden. Im Frühjahr 1996 werden zum zweiten Mal nach 1993 Sedimentkerne im Rahmen des Baikal Drilling Programs (BDP) erbohrt. 200 Meter tief, 100 Meter mehr als drei Jahren zuvor, ist man in die Sedimentfolge des Baikalsees eingedrungen. Entscheidend beteiligt an diesem Projekt sind neben russischen, amerikanischen und japanischen Forschern auch Wissenschaftler vom GeoForschungszentrum Potsdam und vom Alfred Wegener Institut Potsdam. Die Sedimentkernanalysen, z.B. bezüglich archeolimnologisch interessanter Inhalte wie Pollen oder Diatomeenkapseln, sollen helfen, die klimatische, die geologische und die ökologische Entwicklungsgeschichte der Region zu entschlüsseln. Man erhofft sich aber auch neue Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen kontinentalem und marinem Klima und deren Zusammenwirken auf das globale Klima.

1.2. Fakten in Zahlen

Der Baikalsee liegt auf etwa 53° nördlicher Breite und 108° östlicher Länge in Südsibirien, er ist ca. 25-30 Millionen Jahre alt, womit er einer der ältesten Seen ist. Seine maximale Tiefe beträgt 1.637 m. Sein Wasserkörper mit einem Volumen von 23.600 km^3 ist im Vergleich zu anderen Seen dieser Erde riesig. Er enthält ein Fünftel der globalen Süßwasservorräte. Um eine bessere Vorstellung seiner Größe zu bekommen, sei erwähnt, dass der See in seiner Nord-Süd-Ausdehnung ca. 636 km lang ist (Entfernung von Stuttgart - Rostock). Die breiteste Ost-West-Ausdehnung beträgt etwa 80 km. Der Seeboden untergliedert sich in drei Becken, einem nördlichen, einem mittleren (hier befindet sich die tiefste Stelle von 1.642 m) und einem südlichen.

Tabelle 3: Gegenüberstellung von Fläche, Tiefe und Wasservolumen verschiedener Seen

See	Erdteil	A km ²	Tiefe m	Volumen km ³
Kaspisee	Asien	371400	995	79319
Tanganyika	Afrika	34000	1470	18940
Baikal	Asien	31500	1642	23000
Ladoga	Europa	18400	225	920
Titicaca	SA	8400	281	893
Vänern	Europa	5570	89	180
Peipus	Europa	2276	13,4	2,1
Vättern	Europa	1898	119	72
Mälaren	Europa	1163	64	10

¹ Materialien aus einem limnologischen Seminar an der limnologischen Station Iffeldorf (Prof. Dr. Melzer), Vortrag gehalten während der Exkursion 2005



Abbildung 8: Größenunterschiede der Oberflächen verschiedener Seen im selben Maßstab

1.3. Die chemische Zusammensetzung des Baikawassers

Das Wasser des Sees ist mit einer Sichttiefe von bis zu 40 m außerordentlich klar. Sowohl diese Tatsache als auch die sehr geringen Mineralkonzentrationen von etwa 96,6 mg/l sowie die geringe Sedimentationsrate von etwa 4 cm/1000 Jahre sind Indizien für den äußerst oligotrophen Charakter des Gewässers. Das sauberste und in seiner Zusammensetzung konstanteste Wasser befindet sich unter den trophogenen Regionen des Sees ab etwa 200 m. Basierend auf einer Wasseruntersuchung aus dem Jahre 1975 mit mehr als 1000 Einzelproben als Grundlage setzen sich die Inhaltsstoffe des Wassers wie folgt zusammen.

Tabelle 4: Gelöste Mineralien und Gase im Wasser des Baikalsees

Gelöster Stoff	Konzentration [mg/l]
Karbonat	65,5
Kalzium	15,77
Sulfat	4,85
Natrium & Kalium	3,56
Magnesium	3,1
Chlorverbindungen	0,56
Nitrat	0,34
Phosphor	0,028
Sauerstoff	11,44
Silikat	2,87
Karbonsäuren	2,72

Das Wasser ist somit vom Kalziumcarbonat-Typ. Dieser stellt über seine Eigenschaften als Puffersystem sowohl eine genügende CO_2 Verfügbarkeit, als auch einen relativ guten Schutz vor Versauerung dar. Ferner liegt der leicht alkalische pH-Wert des Gewässers oberflächennah bei pH 8, in tieferen Schichten konstant bei pH 7,2. Kalziumhydrogenkarbonat ist gut in Wasser löslich und bleibt im Wasser nur beständig, wenn das Gleichgewicht mit der Konzentration an Kohlendioxid (CO_2) ausgewogen ist. Verschiebt sich das Gleichgewicht, so zerfällt z.B. ein Teil des Kalziumhydrogenkarbonats zu kaum löslichem Karbonat.

Unter Gleichgewichtsbedingungen besteht eine Beziehung zwischen dem Gehalt an Kohlendioxid, dem pH-Wert und dem Gehalt an Hydrogenkarbonaten. Die Verteilung der Bindungsform ist pH-Wert abhängig.

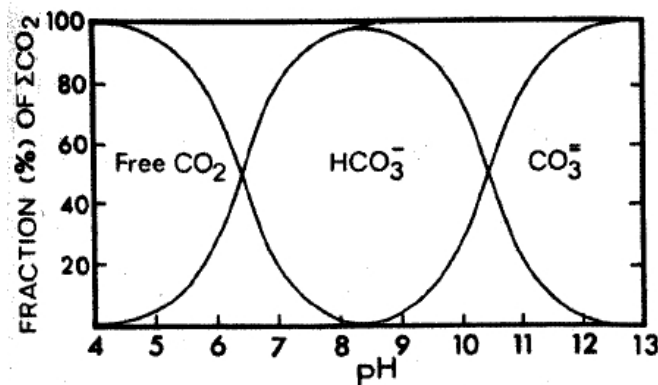


Abbildung 9: Vorkommen von CO_2 – Verbindungen abhängig vom jeweiligen pH-Wert

- Bei pH-Werten unter 6 liegt nahezu alles CO_2 gelöst vor, der Karbonatanteil ist sehr gering.
- Bei pH-Werten zwischen 7 und 8 ist fast alles CO_2 als Hydrogenkarbonat gebunden.
- Bei pH-Werten über 10 ist der überwiegende Teil des CO_2 als Karbonat vorhanden. Gelöstes CO_2 kommt oberhalb von pH 9 nahezu nicht mehr vor.

Die Wassereinträge der Zuflüsse, vor allem die der Selenga, beeinflussen die einzelnen Ionenkonzentrationen beträchtlich, vor allem die der biogen essentiellen Elemente Silizium (Diatomeen), Phosphat und Stickstoff, sowie des weiterem auch Sauerstoff, Karbonsäuren und organische Substanzen. Es sedimentieren somit jährlich etwa 500.000 t Phosphat/Silicat. Totes organisches Material zerfällt weitestgehend und wird in den Kreislauf rückgeführt, zum Teil sedimentiert es jedoch auch. Das Tiefenwasser des Sees ist trotz der Beeinflussung durch den Menschen äußerst sauber geblieben, und nur nahe größeren Siedlungen ist das Wasser gering bakteriell belastet. Die geringe Mineralisierung des Baikalswassers liegt an der niedrigen Mineralisierung des Wassers seiner Zuflüsse, so führt die Selenga durchschnittlichen 126,81 mg/l, die Verkhnya Angara 81,31 mg/l und die Barguzin 134,47 mg/l an Mineralstoffen mit sich. Am nährstoffreichsten ist der Fluss Buguldeika mit 300 mg/l, wohl auch deshalb, weil er durch Regionen mit relativ karbonatreichen und teilweise auch etwas salzhaltigen Böden fließt. Allgemein lassen sich diese geringen Grade an Mineralienfracht lassen sich darauf zurückführen dass das Baikalseebecken hauptsächlich aus schlecht auswaschbaren metamorphen sowie magmatischen Gesteinen besteht. Ferner ist das Wasser der Zuflüsse leicht basisch in Bereichen von pH 7,0 – 8,2. Schwermetallbelastungen des Wassers spielen bisher kaum eine gravierende Rolle.

1.4. Transparenz

Um die Sichttiefe und damit die Transparenz von Seen zu bestimmen, wird gewöhnlich eine weisse Metallscheibe mit 30 cm Durchmesser solange in die Tiefe abgesenkt, bis sie nicht mehr zu sehen ist (Seccitiefe). Seccitiefen von > 40 m sind im Baikalsee keine Seltenheit, vor allem im zeitigen Frühjahr nach der Eisschmelze. Hauptsächlich beeinträchtigt werden Sichttiefen von der Konzentration an Phytoplanktern. Je größer die Sichttiefe, desto geringer ist die Konzentration an photoautotrophen Organismen und desto geringer ist auch die Trophie (Grad an Primärproduktion). Somit steht eine hohe Sichttiefe auch für eine sehr gute Wasserqualität. Die Tatsache, dass die Uferregionen weitestgehend steil abfallen und somit kaum Platz für submerse Makrophyten beherbergen, ferner die durchschnittlich sehr kühlen Wassertemperaturen, die auch Einfluss auf enzymatische Geschwindigkeiten nehmen ($10^{\circ}\text{C} = \text{Faktor } 2!!!$) sowie die große Tiefe des Sees, die gleichermaßen als Nährstofffalle fungiert, leisten hierzu einen nicht unbeträchtlichen Beitrag. Dementsprechend nimmt während des Sommers die Sichttiefe ab, vor allem nahe Flussmündungen. Im späten Herbst nimmt die Seccitiefe wieder stark zu. Im Vergleich zu den Sichttiefen anderer Gewässer (Kaspische Meer 25 m, Sevan-See (Armenien) sowie Issyk-Kul 20 m) tut sich der Baikalsee ausserordentlich hervor. Im Tiefenwasser (250 m unter der Wasseroberfläche – 350 m über Grund) nimmt die Transparenz nochmals drastisch zu.

1.5. Wassertemperatur

Der Baikalsee ist ein kaltes Gewässer, eisfrei ist er teilweise erst ab Mai, aufgrund seiner Nord-Süd Ausdehnung, in manchen Abschnitten auch erst ab Juni. Aufgrund der hohen Wärmekapazität des Wassers nimmt der See nun Wärme auf, obgleich eine Oberflächentemperatur von $3-4^{\circ}\text{C}$ lange aufrechterhalten wird, was der Mixis des Sees und somit der Versorgung mit O_2 außerordentlich zuträglich ist. Zu dieser Zeit ist der See nahezu homotherm, erst ab Juni stellt sich langsam eine thermale Stratifikation ein, begünstigt durch die äußerst geringe Wärmeleitfähigkeit von H_2O . Nur in flachen Wasserabschnitten und beruhigten Buchten beträgt die Temperatur jetzt schon $10-12^{\circ}\text{C}$. Im August erwärmen sich die obersten Schichten des Epilimnion auf $14-16^{\circ}\text{C}$, im äußersten Süden des Gewässers in der Nähe der großen Zuflüsse kann die Wassertemperatur bis auf $16-18^{\circ}\text{C}$ steigen. Aufgrund der druckabhängigen Dichteanomalie des Wassers, die etwa alle 10 bar (100 m Wassersäule) eine Verringerung der Temperatur mit der höchsten Dichte um $0,1^{\circ}\text{C}$ bewirkt, hat das Wasser über Grund eine Temperatur von etwa $3,1 - 3,5^{\circ}\text{C}$. Erwähnt werden müssen ferner die Warmwasserquellen (50°C) im See, die sich aufgrund und entlang der tektonischen Schwachstelle der Erdkruste gebildet haben. Auf den Wärmehaushalt des Sees haben diese Quellen ebenso wie der z.T. gefrorene Untergrund keinen ausschlaggebenden Einfluss.

1.6. Wasserströmungen

Strömungen in großen Seen können auf verschiedene Art und Weise hervorgerufen werden, v.a. durch Wind, Unterschiede im atmosphärischen Druck, der Erdbewegung in Zusammenhang mit der Corioliskraft sowie dem Zustrom großer Wassermassen über die Zuflüsse. Unterschiedliche Methoden wurden verwendet, um diese Ströme zu studieren: Flaschenpost, die Drift von Behältnissen sowie von Fischernetzen usw.

Im Baikalsee treten zwei Arten von Strömungen auf, dauerhafte und Driftströme. Die permanenten Ströme fließen im Baikalsee dem Urzeigersinn entgegengesetzt, daher werden sie auch als zyklonisch bezeichnet. Im Großen und Ganzen ist der gesamte See von dieser Art von Strömung tangiert. Diese werden je nach Form des Baikalsees wiederum in verschiedene Typen unterteilt. Die Geschwindigkeit dieser Wasserbewegungen betragen im Durchschnitt etwa $18 - 20 \text{ cm/s}$, können aber auch 50 cm/s erreichen. Aufgrund von Gegenströmungen und Hindernissen beträgt die tatsächliche vectoriale Geschwindigkeit in

etwa 8 – 9 cm/s, oftmals auch nur 4 – 6 cm/s. Solche Strömungen sind nicht nur für den Baikalsee charakteristisch, sie treten auch im baltischen Meer sowie der Ägäis und der Barentsee auf.

Ferner werden im Baikalsee signifikante Strömungen auch durch Windeinfluss induziert, was durchaus zu relativ starken, jedoch kurzlebigen Strömungen führen kann, die die obere Wasserschicht betreffen, deren Auswirkungen aber durchaus auch in tieferen Wasserschichten bemerkbar sind. Als Beispiele solcher Winde seien genannt die Gebirgsfallwinde Kultuk, Barguzin, Verkhovik und Shelonnik. Weitere Bergwinde (Gora, Gornaya, Gornyak, Sarma, Kharakhaikha) wehen entlang des westlichen Seeufers in West-Nordwestrichtung sowie von den Gipfeln der Berge Primorsky und Baikalsky. Der Sarma in der Region Olkhons ist mit Windspitzen von 40 m/s und Wellenbergen von bis zu drei Metern so heftig, dass seine Böen Häuser abdecken und Boote zum Kentern bringen können. Der Kultuk weht vornehmlich aus Südwesten mit bis zu 20 m/s entlang der gesamten Seelänge und beeinflusst somit das gesamte Gewässer. Dennoch werden die Wellen selten höher als zwei, manchmal drei Meter, wenn sie sich über die gesamte Seelänge aufgeschaukelt haben. Der Barguzin weht aus dem Barguzintal von Nordosten kommend mit bis zu 20 m/s. Er türmt an der Westküste Wellen bis zu einer Höhe von 3,5 – 4 Metern auf. Weitere Winde sind der Verkhovik aus Nord/Nordost Richtung (Angara) und Shelonnik (Selenga) aus Südosten.

All diese Winde sorgen bei homothermen Verhältnissen für eine äußerst effiziente Durchmischung des Baikals bis in große Tiefen. Durch Untersuchungen bezüglich des Tritiumgehalts der Zuflüsse sowie des Sees konnte ermittelt werden dass die durchschnittliche Wasseraustauschkapazität des Baikals bei knapp unter 400 Jahren liegt.

1.7. Wasserbilanz

Das Einzugsgebiet des Sees umfasst mit seinen Zuflüssen 1.487.480 km². Dies entspricht knapp dem 4,2 fachen der Fläche Deutschlands. Die Zuflüsse des Baikals schütten im Jahr 58,76 km³ (82,7%), an Niederschlag erhält der See 9,29 km³ Wasser (13,1%) und an seiner Oberfläche kondensieren immerhin noch 0,82 km³ (1,2%). Alles in allem bezieht der Baikals somit im Jahr 68,86 km³ Wasser.

Dem gegenüber stehen die Defizitwerte an Wasser. Jährlich speisen 60,39 km³ (84,8%) den Fluss Angara und 10,35 km³ (14,6%) verdampfen an seiner Wasseroberfläche. Durch den Bau des Staudammes bei Irkutsk wurde der See um 1,4 Meter angehoben und enthält nun 0,44 km³ mehr Wasser. Die Beziehungen des Wasserkörpers zu den Grundwasser führenden Schichten des Umlandes werden aufgrund der geringen Volumenrelationen als nichtig betrachtet.