

SEEWASSERENTNAHME IM BIELERSEE

GIBT ES EINE IDEALE POSITION?

Der Energie Service Biel plant das Seewasserwerk Ipsach und die dazugehörige Seewasserfassung im Bielersee zu ersetzen. Neben den üblichen Parametern der Wasserqualität (wie Temperatur, Sauerstoff, Trübung, Geruch, Geschmack) spielt im Bielersee auch die Hangstabilität der Sedimentablagerungen eine zentrale Rolle für die Wahl der Position der Seewasserfassung.

Love Råman Vinnå, EPFL

Damien Bouffard, EPFL, Eawag; Nathalie Dubois, Eawag

Michael Hilbe, Universität Bern; Roland Käser, Energie Service Biel

Alfred Wüest, EPFL, Eawag*

RÉSUMÉ

CAPTAGE D'EAU DU LAC DE BIENNE – QUEL EST L'EMPLACEMENT IDÉAL?

L'actuelle station de conditionnement de l'eau du lac située à Ipsach et ses points de captage définis en 1974 sont devenus obsolètes, et l'Energie Service Bienne prévoit de remplacer les installations du lac de Biene. La répartition des courants et de la turbidité risquant de se modifier en raison des changements climatiques et de la mise hors service de la centrale nucléaire de Mühleberg, la question se pose de savoir si l'emplacement actuel du captage d'eau du lac de Biene reste l'emplacement idéal. Selon cette étude de terrain réalisée sur deux ans, l'emplacement actuel est favorable à différents titres. La température et l'oxygène ainsi que la turbidité générée par les affluents Aar et Suze jouent un rôle important dans la qualité de l'eau captée. Les conditions idéales de captage se trouvent dans une couche comprise entre ~40 et ~50 m de profondeur. De plus, dans le lac de Biene, la stabilité des dépôts sédimentaires sur les pentes est un facteur de sécurité essentiel pour le captage et la conduite. Dans la partie est du lac, au nord d'Ipsach, se trouve une zone relativement petite qui présente des conditions de qualité d'eau idéales en termes de qualité de l'eau et ne connaît pas de glissements de terrain subaquatiques.

EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Das heutige Seewasserwerk Ipsach und die dazugehörige Seewasserfassung wurden im Jahr 1974 gebaut. Mittels eines Saugkorbs am Ende der Seewasserleitung wird das Rohwasser in 38 m Tiefe des Bielersees gefasst und zur Aufbereitungsanlage ins Seewasserwerk Ipsach gepumpt. Die Kapazität beträgt $900 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, pro Jahr werden durchschnittlich ~4,1 Mio. m^3 Wasser ins Trinkwassernetz Biel/Nidau abgegeben. Aufgrund des Alters des Seewasserwerkes plant der Energie Service Biel (ESB) den Ersatz der gesamten Anlage. In diesem Zusammenhang soll überprüft werden, ob aufgrund veränderter Umwelteinflüsse die Position der Fassung angepasst werden muss.

Auslöser der Untersuchung war ein Trübungsereignis am 31. Dezember 2009. In der Nähe der heutigen Seewasserfassung (Fig. 1) kam es zu einer seeinternen Rutschung, in der Folge gelangten derart viele suspendierte Feststoffe via Seewasserleitung in die Aufbereitungsanlage, dass die Fassung zum ersten Mal in der Betriebsgeschichte für vier Tage eingestellt werden musste. Damals war der Grund für diese extreme Trübung unklar. Zudem stellte sich der ESB Fragen, ob künftig die klimatischen Veränderungen und/oder die Ausserbetriebnahme des Kernkraftwerkes Mühleberg die Qualität des Seewassers

* Kontakt: alfred.wueest@eawag.ch

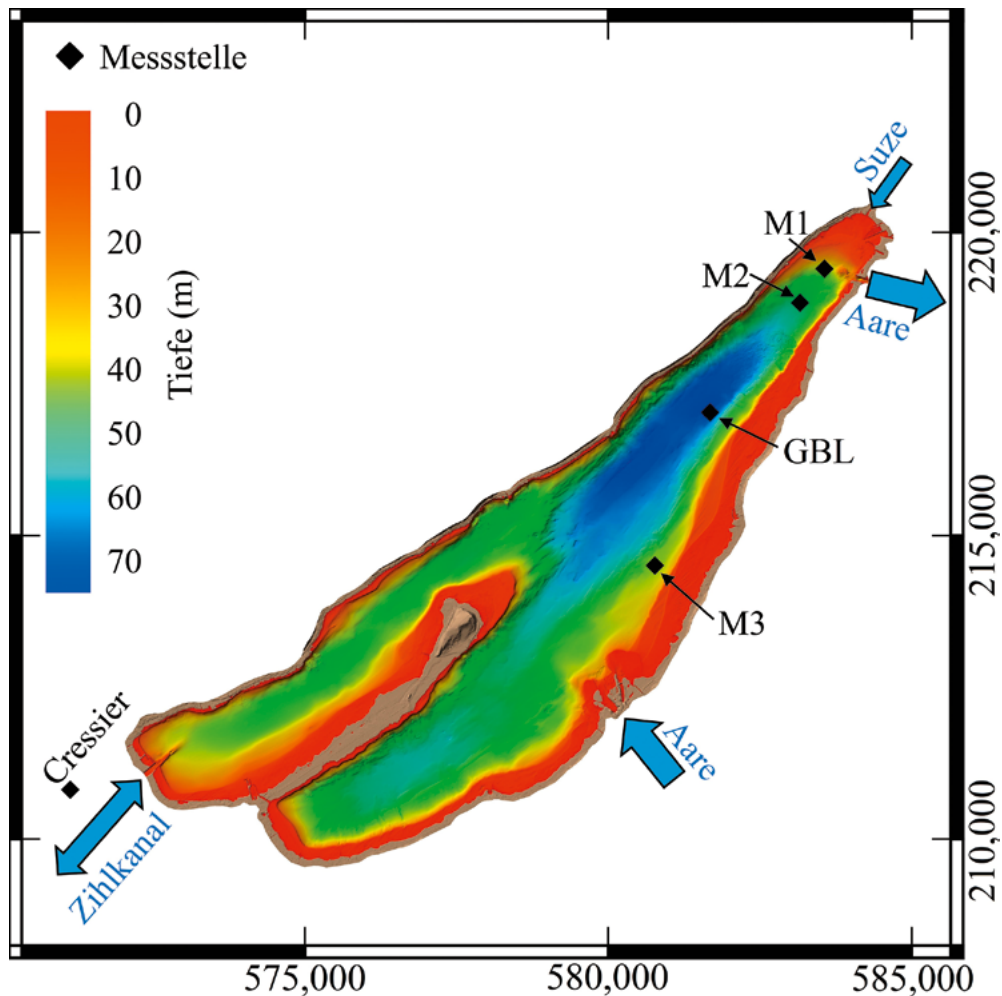


Fig. 1 Topografisches Relief des Bielersees von der Seeoberfläche (rot) bis zur maximalen Tiefe von 74 m (dunkelblau). Landseitige Uferbereiche (LiDAR) über der Wasserlinie sind braun gefärbt. Die vier Punkte bezeichnen die Lage der Messstellen (Verankerungen M1, M2, M3, und Monitoring GBL) sowie der Seewasserfassung Ipsach (Nähe M2, verankert in 45 m Tiefe und Einlass in 38 m). Zwischen Neuenburgersee und Bielersee kann Wasser in beiden Richtungen fließen (Doppelpfeil Zihlkanal). Für Details zur bathymetrischen Vermessung siehe [1] (Fächerecholot) und [2] (LiDAR).

Relief topographique du lac de Bielle depuis la surface (en rouge) jusqu'à sa profondeur maximale de 74 m (en bleu foncé). Les zones riveraines émergées (LiDAR) sont représentées en brun. Les quatre points désignent la position des points de mesure (ancrages M1, M2, M3, et surveillance du GBL) ainsi que le captage de l'eau du lac de la station d'Ipsach (proximité M2, ancrage à 45 m de profondeur et prise d'eau à 38 m). Entre le lac de Neuchâtel et le lac de Bielle, l'eau peut s'écouler dans les deux sens (double flèche au canal de la Thielle). Pour les détails sur les mesures bathymétriques, voir [1] (échosondeur multifaisceaux) et [2] (LiDAR).

verändern könnten. Deshalb entschloss sich der ESB, die aktuelle Situation zu analysieren und die Lage der Seewasserfassung zu überdenken. Auf der Basis von mehr als zwei Jahren Feldarbeit analysierte die Eawag in Zusammenarbeit mit Forschungsgruppen an der EPFL und der Universität Bern die Verteilung von Strömungen sowie Temperatur, Sauerstoff

und Trübung im Bielersee. Dabei ging es um folgende Fragestellungen:

- Was war der Grund für die extreme Trübung am 31. Dezember 2009? Sind solche Ereignisse auch künftig möglich?
- Welche Veränderungen sind aufgrund der klimatischen Entwicklung und der Ausserbetriebnahme des Kernkraftwerkes Mühleberg zu erwarten?

- Welche Rolle spielen die Zuflüsse Aare und Schüss (La Suze) für die Trübung bei der Seewasserfassung und könnte eine andere Position die Belastung der Aufbereitungsanlage verringern?
- Welche Bereiche des Bielersees sind hinsichtlich Sedimentstabilität und unterseeischer Rutschungen besonders kritisch?

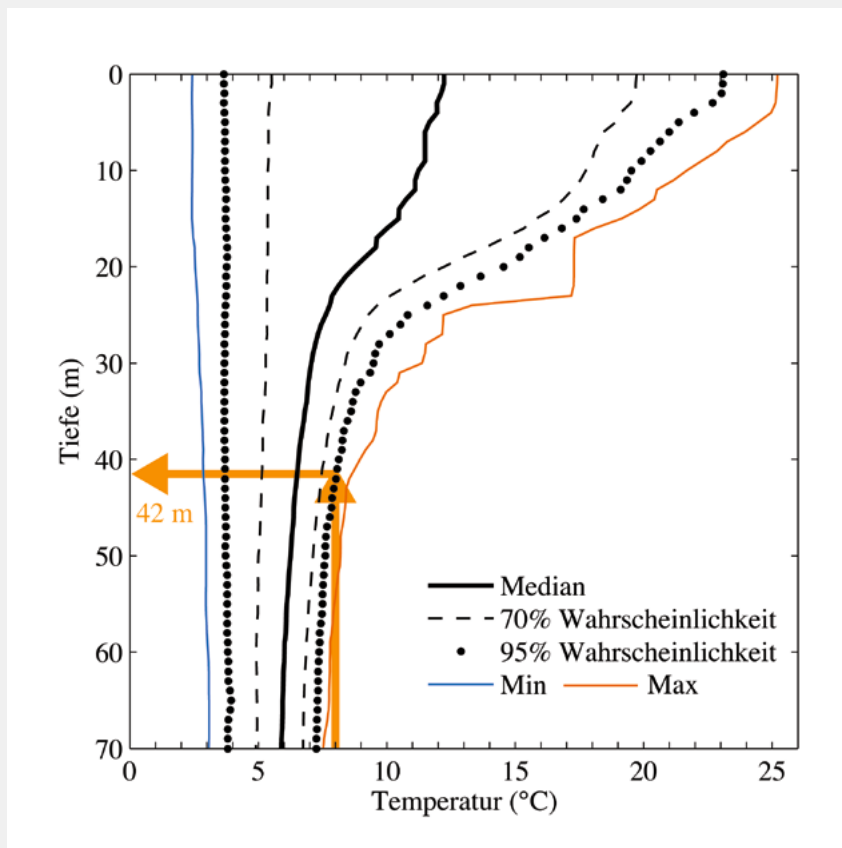


Fig. 2 Vertikale Temperaturverteilung im Bielersee basierend auf Profilen (GBL/AWA, Bern) von 1994 bis 2016. Dargestellt sind neben Median (fette Linie) die maximalen (zinnrot) und minimalen Temperaturen (blau) sowie die Temperaturen, die 70 und 95% der gemessenen Werte umfassen. Die Figur ermöglicht die gewünschten Wassertemperaturen des gefassten Seewassers zu wählen. Soll das Rohwasser in 97,5% der Zeit kälter als 8 °C sein, so muss das Seewasser tiefer als bei 42 m gefasst werden (Pfeile).

Distribution verticale de la température dans le lac de Biènné basé sur des profils (GBL/OED, Berne) de 1994 à 2016. Les températures représentées sont les médianes (ligne épaisse), les maximales (en rouge vermillon) et les minimales (en bleu) ainsi que les températures représentant 70 et 95% des températures mesurées. Cette figure permet de choisir la température de l'eau captée. Si la température de l'eau brute doit être inférieure à 8 °C dans 97,5% du temps, le captage doit s'effectuer à plus de 42 m de profondeur (flèches).

Nachfolgend werden die Argumente für die potenziell ideale Position der künftigen Seewasserfassung im Bielersee erläutert. Die weiteren Aspekte, insbesondere die Rolle der klimatischen Entwicklung und der Ausserbetriebnahme des Kernkraftwerkes Mühleberg [3], die Rolle der Aare und Schüss für die Trübung und Sedimentation sowie die seeinternen Rutschungen [4], werden in anderen Publikationen dargestellt.

Die mit einem mobilen Fächerecholot (Wassertiefen > 5 m [1]) sowie mit einem topobathymetrischen LiDAR (Flachwasser- und Uferzonen [2]) neu vermessene Bathymetrie des gesamten Bielersees ist bei den beteiligten Behörden vorhanden. Der Fokus dieses Artikels liegt nur bei der künftigen Position der Seewasserfassung.

ERWÄGUNGEN ZUR VERTIKALEN LAGE DER SEEWASSERFASSUNG

TEMPERATUR

Ein wichtiges Kriterium für die Wahl der Entnahmetiefe ist die Temperatur des gefassten Seewassers. Dank monatlichem Monitoring des Gewässer- und Bodenschutzlabors (GBL/AWA) liegen für die letzten 22 Jahre Temperaturprofile vor (Fig. 2, 1994 bis 2016), die eine ideale Statistik der zu erwartenden Temperaturen als Funktion der Tiefe erlauben. Die Temperaturen der Oberfläche (2,5 bis 25 °C) und im oberen Bereich der Sprungschicht (Beckenschwingungen, Seiches) sind für die Trinkwasserversorgung ungeeignet, da dort grosse Schwankungen auftreten (Minima und Maxima in Fig. 2). Für kühle und gleichmässige Temperaturen sollte

die Fassung daher möglichst tief gelegt werden. In Fig. 2 kann die obere Grenze der Entnahmetiefe für verschiedene vorgegebene Auftretenswahrscheinlichkeiten der Temperaturen des gefassten Seewassers ermittelt werden. Soll beispielsweise eine Temperatur von 8 °C in 97,5% der Zeit nicht überschritten werden (Pfeile in Fig. 2), so muss die Fassung tiefer als 42 m gelegt werden. Entsprechend kann anhand der Fig. 2 mit den Auftretenswahrscheinlichkeiten für 2,5, 15, 50, 85 und 97,5%, auch für beliebig andere Vorgaben geplant werden.

Die Temperaturen im Bielersee werden sich während der Lebensdauer der künftigen Seewasserfassung verändern. In den nächsten Jahren wird sich nach der Ausserbetriebnahme des KKW Mühleberg der gesamte Wasserkörper des Bielersees um ~0,3 °C abkühlen [3]. In den folgenden Jahrzehnten wird die klimabedingte Erwärmung der Atmosphäre auch im Bielersee die Wassertemperaturen ansteigen lassen [3]. In 50 Jahren wird das gefasste Wasser deshalb in einer Entnahmetiefe von 42 m um ~0,3 °C wärmer sein. Möchte man diese Erwärmung zum vornherein kompensieren, so müsste die Fassung um ~5 m in grössere Tiefe verschoben werden (Fig. 2).

SAUERSTOFF

Ein weiteres wichtiges Qualitätskriterium für gefasstes Seewasser ist der Sauerstoffgehalt. Anoxische Rohwässer können Ammonium oder gelöstes Eisen und Mangan enthalten, die aus Sicht der Trinkwasserqualität problematisch sind. Zudem wird bei der Aufbereitung des Seewassers Sauerstoff benötigt, um das vorhandene organische Material abzubauen, das sonst bei den nachfolgenden Aufbereitungsprozessen stört. Sollte dennoch organisches Material ins Verteilnetz gelangen, würde dies zum Aufwuchs von Mikroorganismen führen.

Wie für die Temperatur bildet das monatliche Monitoring von GBL/AWA im Bielersee eine ideale Basis für die Statistik der zu erwartenden Konzentrationen des gelösten Sauerstoffs. In Fig. 3a sind neben Median auch die Minima und Maxima für die Profile von 2000 bis 2015 dargestellt. Im Winter wird der Sauerstoff im gesamten Bielersee jeweils praktisch vollständig ersetzt, da die saisonale Durchmischung immer bis zur maximalen Tiefe reicht. Entsprechend sind die Sauerstoffgehalte in der ers-

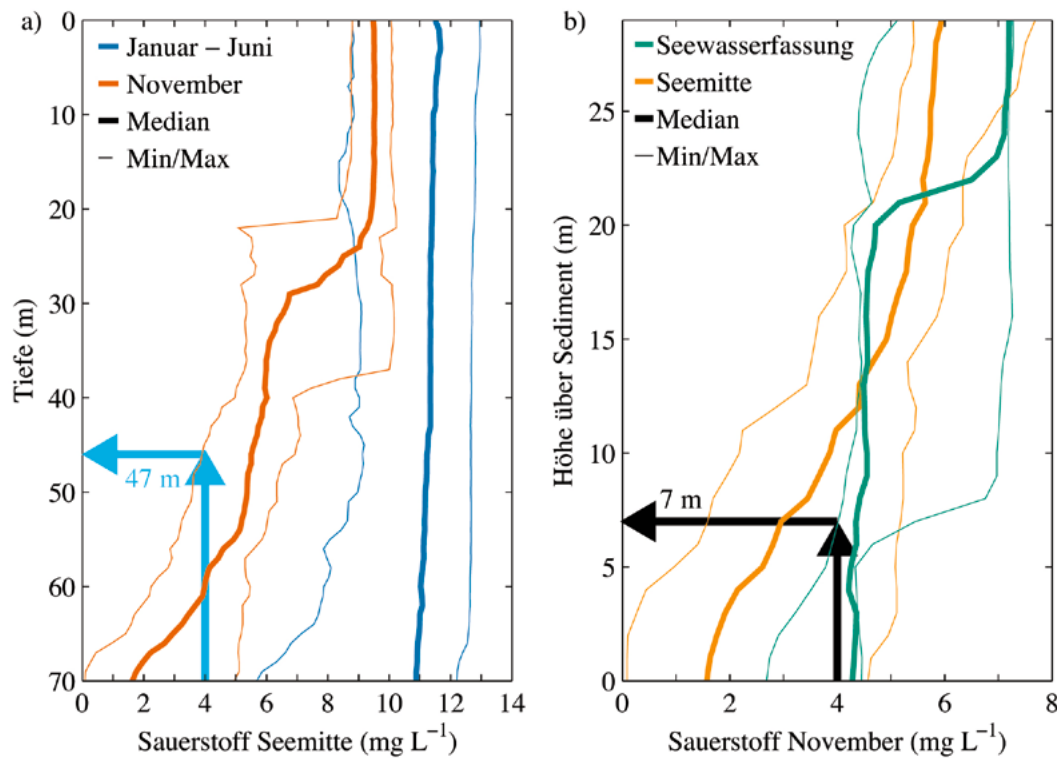


Fig. 3 (a) Profile der Sauerstoffkonzentration (GBL/AWA) von 2000 bis 2015 für die Periode der hohen Werte im Winter/Frühling (dunkelblau) und zur kritischen Zeit im November (zinnrot). Fette Linien bezeichnen Mediane und feine Linien die Maxima und Minima. Oberhalb einer Tiefe von 47 m beträgt der Sauerstoffgehalt jederzeit mehr als 4 mg l^{-1} (Pfeile).

(b) Sauerstoffkonzentration als Funktion der Höhe über dem Sediment im November im Bereich der maximalen Seetiefe (zinnrot) und im Bereich der aktuellen Seewasserfassung (grün; Pfeile 7 m über dem Sediment). In den tiefsten Zonen des Sees kann der Sauerstoffgehalt im November direkt über dem Sediment bis auf 0 mg l^{-1} absinken (feine Linie zinnrot).

(a) Profils de la concentration en oxygène (GBL/OED) de 2000 à 2015 durant la période des valeurs élevées en hiver/au printemps (en bleu foncé) et la période critique de novembre (en rouge vermillon). Les lignes épaisses représentent les médianes; les lignes fines, les maximales et minimales. Au-dessus d'une profondeur de 47 m, la teneur en oxygène est supérieure à 4 mg/l en toute saison (flèches).

(b) Concentration en oxygène selon la hauteur au-dessus des sédiments en novembre dans la zone de profondeur maximale (en rouge vermillon) et dans la zone du captage actuel de l'eau (en vert; flèche 7 m au-dessus des sédiments). Dans les zones les plus profondes, la teneur en oxygène mesurée directement au-dessus des sédiments peut baisser en novembre à 0 mg l^{-1} (ligne fine en rouge vermillon).

ten Jahreshälfte ausgezeichnet (Fig. 3a; blau). Mit dem Abbau von organischem Material im Tiefenwasser sinkt der Sauerstoffgehalt während der Schichtungsperiode (März bis November; $0,7$ bis $0,8 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ unterhalb 15 m Tiefe) und erreicht im November die geringsten Konzentrationen (Fig. 3a; zinnrot). In den tiefsten Bereichen des Bielersees treten zu dieser Jahreszeit meist hypoxische Bedingungen auf ($< 4 \text{ mg l}^{-1}$). Um solch tiefe Sauerstoffgehalte ganzjährig zu vermeiden, sollte das Seewasser oberhalb einer Tiefe von 47 m gefasst werden (Pfeile in Fig. 3a).

Neben der absoluten Tiefe spielt auch die Höhe über der Sedimentoberfläche eine wichtige Rolle. Wie Figur 3b zeigt, nimmt der Sauerstoffgehalt unmittelbar über dem Sediment deutlich ab. Im No-

vember ist dies in der tiefen Seemitte besonders ausgeprägt und für die Seewasserentnahme unerwünscht (Fig. 3b, zinnrot). Im Bereich der aktuellen Seewasserfassung (Seegrund in 45 m Tiefe; Fig. 1) sind die Sauerstoffgehalte auch im November in 7 m Höhe über dem lokalen Seegrund immer grösser als 4 mg l^{-1} (Pfeile in Fig. 3b).

Da die künftige klimabedingte Erwärmung die Tiefenmischung – besonders in warmen Wintern – tendenziell abschwächt [5], sollte die Fassung nicht wesentlich tiefer verlegt werden. Zwar geht mit dem Rückgang der Nährstoffbelastung (und folglich des Algenwachstums) auch ein Rückgang der Sauerstoffzehrung einher, doch lässt sich von den Mittellandseen ableiten, dass diese Reaktion nur langsam erfolgt und der

Sauerstoffbedarf der Sedimente erst nach Jahrzehnten abnimmt [6]. Wir können deshalb nicht davon ausgehen, dass sich die Sauerstoffgehalte in den tiefsten Bereichen des Bielersees während der Lebensdauer der künftigen Seewasserfassung deutlich verbessern werden. Umgekehrt besteht ebenfalls kein Grund für eine Verschlechterung bis in Tiefen, welche für die Seewasserfassung relevant sind. Zusammenfassend schliessen wir, dass das Seewasser oberhalb von $\sim 50 \text{ m}$ Tiefe hinsichtlich Sauerstoff auch in den nächsten Jahrzehnten zur Trinkwassergewinnung geeignet ist. Wie Figur 3b zeigt, ist ein Abstand von mindestens $\sim 7 \text{ m}$ zum lokalen Seegrund nötig, um hypoxische Bedingungen im Spätherbst (besonders nach Herbststürmen) zu vermeiden.

PARTIKELGEHALT UND TRÜBUNG

Ein drittes, im Bielersee weniger bedeutendes Kriterium für die Qualität des gefassten Seewassers ist der Feststoffgehalt, oft auch als Trübung angegeben. Wie das monatliche Monitoring von GBL/AWA für die Zeit von 1997 bis 2015 zeigt, ist die Trübung im Bielersee bei Trockenwetterabfluss gering und über die gesamte Wassersäule zeichnen sich keine ausgeprägten Zonen von besonders trübem oder besonders klarem Seewasser aus (Fig. 4a; *fette Linie*). Die Trübung wird mittels eines Transmissometers (WETLabs C-Star) über 10 cm bei 600 bis 650 nm bestimmt und als Prozent der Lichtabschwächung (Attenuation) angegeben. Die während der zweijährigen Untersuchung gemessenen Partikelkonzentrationen variierten zwischen 1 und 20 mg l⁻¹.

Das in Fig. 4a gezeigte Maximum an suspendierten Feststoffen der letzten 19 Jahre trat im Dezember 2009 nach einer Periode von starken Niederschlägen auf. Wichtig für die Planung der Seewasserfassung ist der in der Fig. 4b gezeigte Umstand, dass das Seewasser unmittelbar über dem Sediment am trübsten ist [7]. In einem Abstand von 10 m über dem Sediment beträgt die Trübung nur noch ~20 bis ~30% der maximalen Trübung unmittelbar über dem Sediment (Fig. 4b). Daher ist es deutlich vorteilhafter, den Saugkorb der Fassung einige Meter über dem lokalen Sediment anzubringen. Zusammenfassend zeigt das Monitoring der letzten 19 Jahren, dass die Wahl der Tiefe unkritisch ist, solange sich die Fassung einige Meter über dem Sediment befindet.

ZUSAMMENFASSUNG VERTIKALE LAGE

Im Allgemeinen sind auch pH, Geschmack und Geruch als Parameter der Wasserqualität zu berücksichtigen, doch spielen diese im unbelasteten Bielersee keine Rolle. Von den Kriterien Temperatur (Fig. 2), Sauerstoff (Fig. 3) und Trübung (Fig. 4) ergibt sich somit in der Kombination, dass die ideale Tiefenlage der Seewasserfassung sich zwischen ~40 und ~50 m befindet. In Fig. 5 ist der Bereich des Bielersees markiert, in dem der Sauerstoffgehalt immer über 4 mg l⁻¹ und die Temperatur in 97,5% der Zeit unter 8 °C liegt. Die grün eingefärbte Fläche bezeichnet den Seegrund, welcher 7 m Abstand zu den Schichten aufweist, die heute diese beiden Kriterien erfüllen. Darüber liegen die Wasserschichten, die zu warm werden (*zinnrot*) und darunter

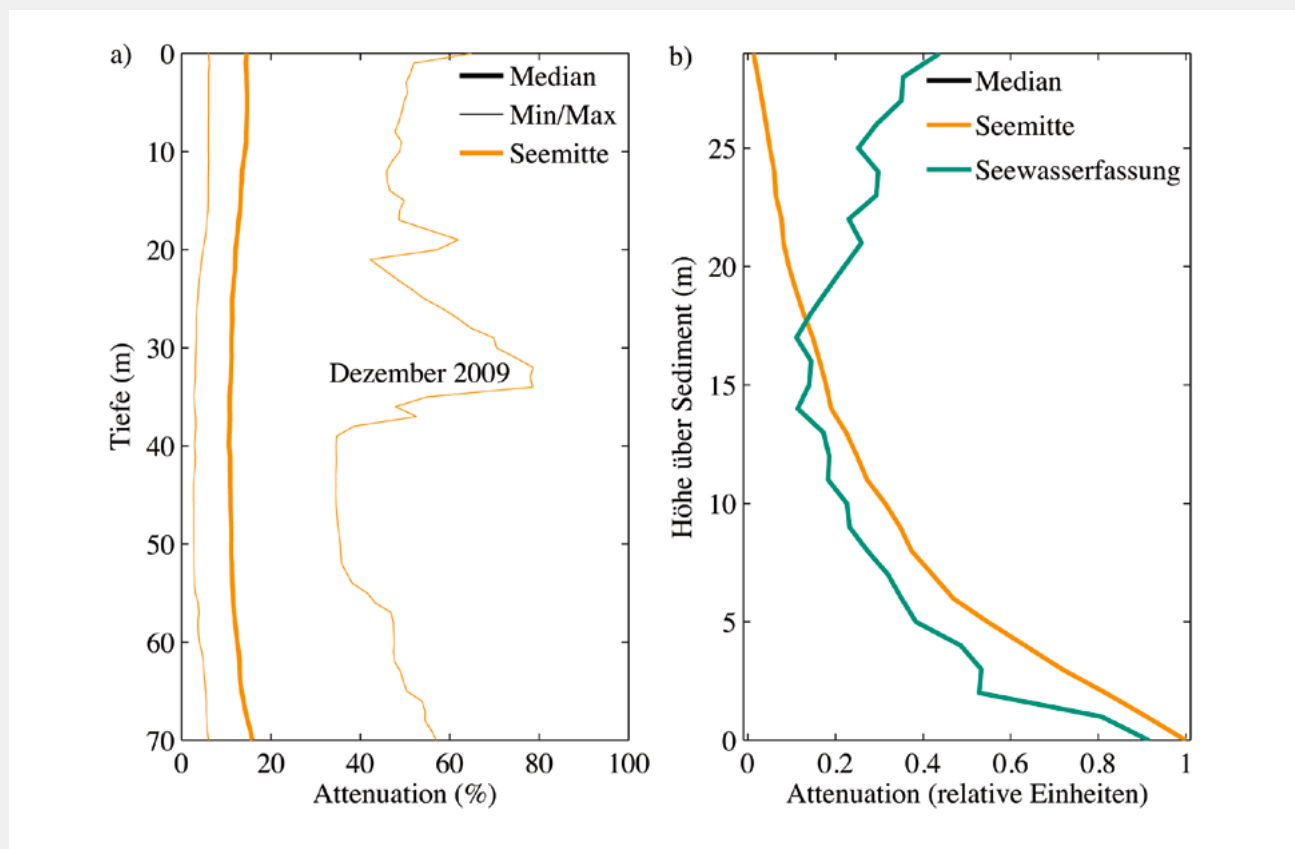


Fig. 4 (a) Profile der Trübung (ausgedrückt als Lichtabschwächung) im Bielersee für den Zeitraum 1997 bis 2015 (GBL/AWA). Der Median (*fette Linie*) und die Minimalwerte sind praktisch homogen und zeigen keine ausgeprägten trübem oder klaren Wasserschichten. Das Maximum stammt von einem Hochwasserabfluss vom Dezember 2009.

(b) Unmittelbar über dem Sediment ist das Wasser trübter als im offenen Wasser (*zinnrot* an der tiefsten Stelle des Sees [GBL/AWA]; *grün* im Bereich der aktuellen Seewasserfassung 2014 und 2015 [M2]). Um diese sedimentnahe Trübung zu vermeiden, sollte das Seewasser einige Meter über der lokalen Sedimentoberfläche gefasst werden.

(a) Profils de la turbidité (exprimée en perte de lumière) dans le lac de Bielle pour la période allant de 1997 à 2015 (GBL/OED). Les valeurs médianes (*ligne épaisse*) et les valeurs minimales sont quasiment homogènes et ne montrent aucune couche d'eau particulièrement trouble ou claire. Les valeurs maximales sont dues à la crue de décembre 2009.

(b) Directement au-dessus des sédiments, l'eau est plus trouble que dans les eaux libres (*en rouge vermillon* au point le plus profond du lac [GBL/OED]; *en vert* dans la zone de captage actuelle de 2014 et 2015 [M2]). Pour éviter cette turbidité présente à proximité des sédiments, l'eau du lac devrait être captée à quelques mètres au dessus de la surface des sédiments.

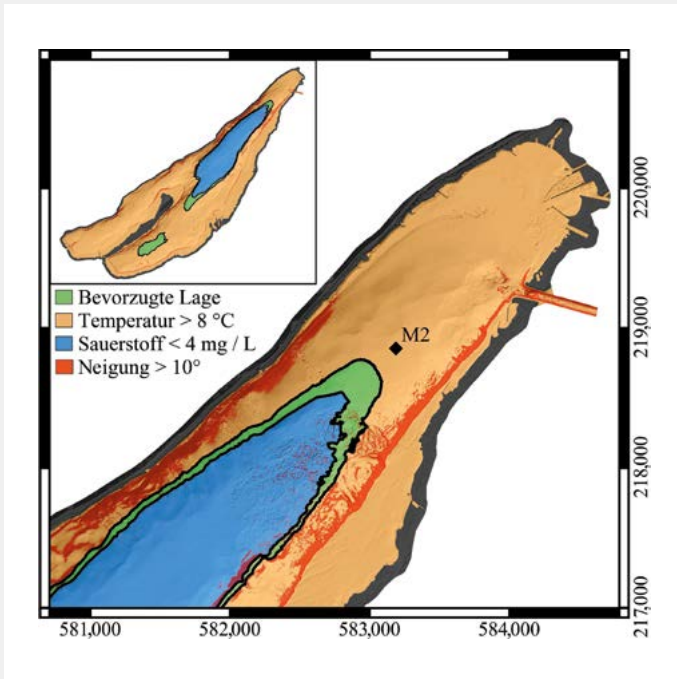


Fig. 5 Kombination der Kriterien für Temperatur (zinnrot; Tiefe < 42 m), Sauerstoff (blau; Tiefe > 47 m), Topografie (rot; Hangneigung > 10°) zu heutigen Bedingungen. Die zinnroten Bereiche sind zu warm, die blauen Bereiche werden im Spätherbst hypoxisch. Die roten Bereiche markieren eine lokale Hangneigung von > 10° und weisen auf eine erhöhte Gefährdung durch unterseeische Rutschungen hin [9]. Der grüne Bereich bezeichnet die für die Wasserfassung geeignete Wasserqualität (7 m Abstand zum Sediment) im östlichen Teil des Bielersees. M2 in Nähe aktueller Fassung (Fig. 1).

Combinaison des critères de température (en rouge vermillon; profondeur < 42 m), d'oxygène (en bleu; profondeur > 47 m), de topographie (en rouge; déclivité > 10°) conditions actuelles. Les zones en rouge vermillon sont trop chaudes, les zones en bleu deviennent hypoxiques à la fin de l'automne. Les zones en rouge présentent une déclivité locale de > 10° et indiquent un risque accru de glissements de terrain subaquatiques [9]. La zone en vert représente la qualité de l'eau adéquate pour le captage (à 7 m de distance des sédiments) dans la partie est du lac de Bielle.

die Bereiche die im Spätherbst zu geringe Sauerstoffgehalte aufweisen (blau, Fig. 5). Wie Figur 5 verdeutlicht, bleibt vom gesamten Bielersee nur noch eine relativ bescheidene Fläche, welche die drei Kriterien strenggenommen erfüllt. Durch eine Lockerung der Kriterien lässt sich die geeignete Fläche in Figur 5 vergrößern.

ERWÄGUNGEN ZUR HORIZONTALER LAGE DER SEEWASSERFASSUNG

TRÜBUNG DURCH DIE ZUFLÜSSE

Trübung, Partikelverteilung und Sedimentation sind im Bielersee durch die beiden Zuflüsse Aare und Schüss bestimmt. Die Messungen mittels Sedimentfallen und die Analysen der Sedimentkerne [4] sowie die hydrodynamischen Modellrechnungen zeigen, dass im Bereich von M2 – trotz der Nähe der Schüss (Fig. 1) – die

Aare bei weitem den Partikelgehalt im gefassten Seewasser bestimmt.

RUTSCHUNGEN

Der für die Wasserqualität geeignete grüne Bereich in Figur 5 liegt in der flachen Zone des Thalwegs und verläuft in der

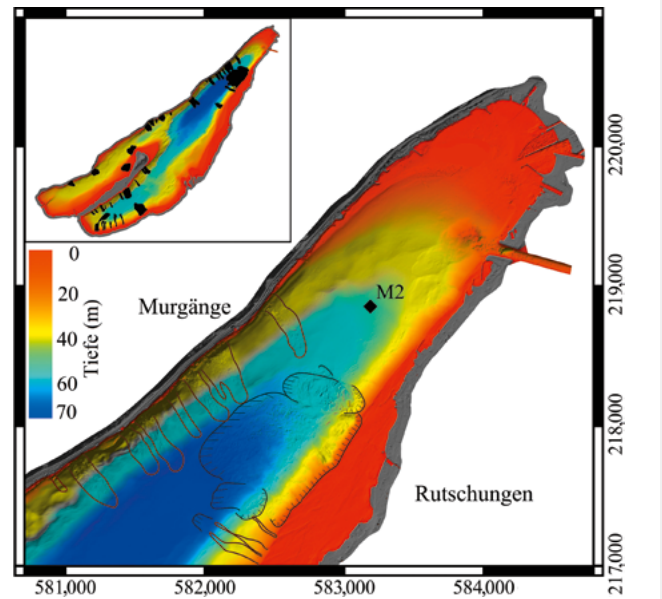


Fig. 6 Fächerecholotaufnahmen dokumentieren unterseeische Massenbewegungen für die meisten Teile des Bielersees (oben links, schwarze Flächen). Im östlichen Teil des Sees zeigt sich eine gegen grössere Wassertiefen und gegen Südwesten zunehmende Dichte von solchen Phänomenen, wie Murgänge und Rutschungen (für Details s. Text). Die weiter westlich gelegenen Bereiche sind nicht dargestellt, da diese für die Trinkwasseraufbereitung in Ipsach zu weit entfernt sind. Details in [4]. M2 in Nähe aktueller Fassung (Fig. 1).

Les prises de vue de l'échosondeur multifaisceaux montrent des mouvements de terrain sous l'eau pour la majorité des zones du lac de Bielle (en haut à gauche, surfaces noires). Dans la zone est du lac, ces types de phénomènes, tels que coulées boueuses et glissements de terrain, s'intensifient au fur et à mesure de la profondeur de l'eau et plus on va vers l'est (voir texte pour plus de détails). Les zones situées plus à l'ouest ne sont pas représentées car trop éloignées pour le traitement de l'eau potable d'Ipsach. Détails sous [4].

Form zweier schmaler Korridore westwärts jeweils entlang des Hangfusses im Norden und Süden. Beide seitlichen Hänge weisen zahlreiche Spuren von unterseeischen Massenbewegungen (Rutschungen) auf, die weit in die zentraleren Teile des Beckens vorstossen (Fig. 6). Im

VERDANKUNG

Das Projekt «Strömungsmodell Bielersee zur Optimierung der Trinkwasserfassung Ipsach» wurde vom Energie Service Biel (ESB) finanziert. Wir bedanken uns speziell für die konstruktive Zusammenarbeit bei den Herren Markus Wyss und Andreas Hirt sowie bei den Mitarbeitenden von der EPFL, Eawag und Uni Bern für die Unterstützung im Projekt. Beim GBL/AWA (Bern) bedanken wir uns für die monatlichen Monitoringdaten (Bielersee) und beim BAFU für die hydrologischen Daten (Aare, Schüss). Die Fächerecholot- und LiDAR-Aufnahmen der Bathymetrie des gesamten Bielersees wurden zusätzlich unterstützt durch: AWA, BAFU, ESB, Swisstopo, Archäologischer Dienst Bern und Renaturierung Fond Bern. Bei Urs von Guten (Eawag), Andreas Hirt (ESB) und Markus Zeh bedanken wir uns für die Durchsicht und bei Flavio Anselmetti für die Unterstützung während des Projekts.

Norden sind im Bereich des in Frage kommenden Perimeters einige individuelle Rutschungen mit begrenzter Ausdehnung zu erkennen, die ihre Anrisszonen (Breite bis 100 m) oft in unmittelbarer Nähe zum bebauten Ufer haben. Der südliche Hang weist dagegen im fraglichen Bereich einen sehr grossen Rutschungskomplex mit einer Anrissbreite von ~1 km auf. Der Anriss liegt hier an der seeseitigen Kante der ausgedehnten Flachwasserzone mehrere 100 m vom Ufer entfernt. Die unregelmässige Morphologie der als Rutschung ausgeschiedenen Fläche, hervorgerufen durch umgelagertes Material sowie am Ort deformierte Sedimente [8], bedeckt den gesamten Beckenbereich bis an den Fuss des Gegenhangs (Fig. 6). Aufgrund morphologischer Details wird angenommen, dass der Komplex nicht das Resultat einer einfachen Rutschung ist, sondern wahrscheinlich in mehreren Ereignissen während der letzten 100 Jahre entstanden ist. Diese Schlüsse werden durch Sedimentuntersuchungen bestätigt [4]. Nordöstlich des grossen Rutschungskomplexes deuten weniger ausgeprägte Loben am Hangfuss auf künstliche Ablagerungen (Ausbaggerungen) im Bereich des Ausflusses der Aare hin. Im gleichen Gebiet treten in den steileren Zonen unterhalb der Kante der Uferplattform und auf den künstlichen Loben Strukturen auf, die auf Hangkriechen hindeuten.

STELTHEIT UND HANGSTABILITÄT

In Ermangelung eingehender Untersuchungen der Sedimentstabilität können in einer ersten Näherung Hänge mit einer Neigung über $\sim 10^\circ$ als potenziell instabil betrachtet werden. Dieser Wert deckt

sich in etwa mit dem Auftreten von Rutschungen im Bielersee und anderen Seen [9]. Die aus Hanginstabilitäten hervorgehenden Massenbewegungen können weit in flachere Bereiche vorstossen, sie führen kurzfristig zu Trübung, könnten aber bei grösseren Ereignissen auch die Infrastruktur im See beschädigen. Insbesondere mit Zusatzbelastung (z. B. Sedimentation, Bautätigkeit, Erdbeben usw.) kann für den gesamten grünen Bereich in Fig. 5 das Auftreten von Massenbewegungen nicht strikte ausgeschlossen werden, wobei die steilen Hänge im Südwesten besonders gefährdet sind. Allerdings sind solche Rutschungen sehr seltene Ereignisse. Kombiniert man im östlichen Bielersee die drei Kriterien der Wasserqualität mit der Steilheit der Hänge (Fig. 5) und den dokumentierten Rutschungen (Fig. 6), so zeigt sich relativ klar, dass die Bereiche nahe an der Beckenachse einige 100 m westlich von M2 für eine Seewasserfassung am besten geeignet sind.

SCHLUSSBETRACHTUNG

Die aktuelle Lage der Seewasserfassung im Bielersee befindet sich im Bereich der idealen Position. Wie Fig. 5 zeigt, sind über eine relativ kleine Fläche westlich von M2 die Wasserqualitätskriterien erfüllt. Aufgrund der klimabedingten Erwärmung des Seewassers und aufgrund der stabilen saisonalen Sauerstoffnachlieferung ist eine tiefere Fassung als heute sinnvoll. Ein Vergleich mit Fig. 6 zeigt ebenfalls, dass in diesem Bereich – anders als gegen das tiefere Becken weiter im Westen – keine bedeutenden jüngeren Massenbewegungen dokumentiert sind.

In den letzten Jahrzehnten wurden diese Bereiche nicht von Rutschungen, sondern nur von Hangkriechen erfasst.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Hilbe, M. (2015): *Bathymetriedaten Bielersee 2015 (Version 1.0.1); Report, Universität Bern*
- [2] Baran, R. (2017): *Projektbericht: Bielersee – LiDAR-Daten und Digitales Geländemodell in Kombination mit Echolot-Daten, Alpine Airborne HydroMapping, Innsbruck, Österreich, 6. Februar 2017*
- [3] Råman Vinnå, L.; Wüest, A.; Bouffard, D. (2017): *Physical effects of thermal pollution in lakes. Water Resources Research, 53, 3968–3987, doi:10.1002/2016WR019686.*
- [4] Dubois, N. et al. (in prep): *Lake Biel's dumps and slumps: The aftermath of river engineering in the 19th and 20th centuries*
- [5] Schwefel, R.; Gaudard, A.; Wüest, A.; Bouffard, D. (2016): *Effects of climate change on deepwater oxygen and winter mixing in a deep lake (Lake Geneva): Comparing observational findings and modeling. Water Resources Research 52(11): 8811–8826*
- [6] Müller, B.; Bryant, L.D.; Matzinger, A.; Wüest, A. (2012): *Hypolimnetic oxygen depletion in eutrophic lakes. Environ. Sci. Technol. 46 (18): 9964–9971*
- [7] Gloor, M.; Wüest, A.; Münnich, M. (1994): *Benthic boundary mixing and resuspension induced by internal seiches. Hydrobiologia 284: 59–68*
- [8] Hilbe, M.; Anselmetti, F.S.; Eilertsen, R.S.; Hansen, L.; Wildi, W. (2011): *Subaqueous morphology of Lake Lucerne (Central Switzerland): Implications for mass movements and glacial history. Swiss Journal of Geosciences 104: 425–443*
- [9] Schnellmann, M.; Anselmetti, F.S.; Giardini, D.; McKenzie, J.A. (2006) *15,000 years of mass-movement history in Lake Lucerne: Implications for seismic and tsunami hazard, Eclogae Geologicae Helveticae 99: 409–428*

Wasser-Boden-Abfall

Chemische und bakteriologische Untersuchungen von Umweltproben – www.bachema.ch

bachema
Analytische Laboratorien